

LES TÉLÉPHONES INTELLIGENTS ET L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE AU QUÉBEC

Par
Félipe Laliberté

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement de développement durable en vue
de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Marie-Chantal Vincent

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Février 2020

SOMMAIRE

Mots clés : cycle de vie, économie circulaire, téléphone intelligent, épuisement des ressources naturelles, fréquence de remplacement, écoconception, recyclage, obsolescence

Les téléphones intelligents font maintenant partie intégrante de nos vies. Leur apparition a bouleversé notre existence en l'espace de quelques années seulement, en raison de leur multifonctionnalité. Ils nous ont apporté plusieurs avantages ; cependant, ils causent des impacts à chaque phase de leurs cycles de vie. La phase de fabrication génère environ les trois quarts de tous les impacts. La fabrication d'un milliard et demi d'appareils annuellement nécessite d'importantes quantités de ressources naturelles, qui doivent être extraites dans la nature. La production des téléphones intelligents entraîne donc l'épuisement des ressources naturelles. Deux phénomènes accentuent cette problématique : la fréquence de remplacement rapide des appareils et la faible remise en boucle des matériaux.

Dans le but de réduire ces conséquences néfastes et ultimement diminuer l'épuisement des ressources causé par la production des téléphones intelligents, des actions de l'économie circulaire dans une stratégie de ralentissement et de fermeture de boucle des ressources ont été évaluées dans un contexte québécois. Une revue de littérature a ainsi été réalisée pour mieux comprendre le contexte mondial et québécois des téléphones intelligents. Une analyse multicritère a alors été effectuée et les résultats ont permis de conclure que les actions d'économie circulaires de la première stratégie permettent d'augmenter la durée d'utilisation des téléphones intelligents, réduisant ainsi leurs fréquences de remplacement. Les actions de la deuxième stratégie permettent pour leur part d'augmenter le recyclage des téléphones intelligents et ainsi la quantité de ressources remises en boucles. Les effets des deux stratégies permettent donc de réduire le taux d'extraction des ressources nécessaires à leur fabrication et ultimement de réduire l'épuisement des ressources non renouvelables causé par la surproduction.

En se basant sur le contexte québécois et mondial des téléphones intelligents, 10 recommandations ont été formulées pour allonger la durée d'utilisation et augmenter le recyclage des téléphones intelligents, afin d'ultimement réduire l'épuisement des ressources naturelles causé par leur production. Ces recommandations sont séparées en trois acteurs. Pour les consommateurs, elles se résument à changer leurs comportements à l'achat, pendant leurs utilisations et lors de la fin de vie de leurs appareils. Pour les entreprises, il s'avère primordial d'encourager les fabricants à inclure des critères d'écoconception lors de la conception des téléphones intelligents. Enfin, il est recommandé que les autorités politiques jouent un rôle clef dans la mise en place de l'économie circulaire, à l'aide de divers outils, tels que la réglementation, la fiscalité et l'appui gouvernemental.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous les gens qui m'ont aidé de proche ou de loin dans la réalisation de ce travail, qui est le résultat d'un long parcours rempli de défis à relever.

Tout d'abord, je remercie ma directrice d'essai, Madame Marie-Chantal, pour ses idées, ses recommandations pertinentes, les encouragements qu'elle m'a prodigués, ses réponses toujours pertinentes à mes questions ainsi que la disponibilité dont elle a fait preuve à mon égard tout en me laissant une grande autonomie.

Je tiens également à remercier mes parents Céline, Germain pour le soutien et les encouragements qu'ils m'ont apportés au cours de mes longues années d'études. Merci à ma marraine Viviane, pour son suivi constant, son intérêt et ses relectures. Merci à Gilbert et Hélène pour leur soutien moral durant la réalisation de ce projet. Merci à Anne pour le rôle qu'elle a joué en tant que source d'inspiration et modèle de persévérance et d'effort au travail.

Je remercie également mes amis pour leur support et leur intérêt envers mon sujet, en particulier mon ami le plus proche, Jason.

Finalement, je tiens à remercier le local de rédaction Thésiez-Vous et tous ses bénévoles. Sans leur service, la réalisation de ce projet aurait été largement plus difficile.

J'espère grandement que les recommandations et le recueil d'informations scientifiques sur les TI intégrés dans ce rapport pourront améliorer le contexte de production au Québec et ailleurs dans le monde. Sur ce, je vous laisse sur une citation de Confucius au sujet de la persévérance, sans laquelle je n'aurais pu aller au bout de mon cheminement.

« Notre plus grande gloire n'est pas de tomber, mais de savoir nous relever chaque fois que nous tombons. »

- Confucius -

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
1. MISE EN CONTEXTE	3
1.1 Problématique : la production insoutenable des téléphones intelligents	3
1.2 Objectifs et portée de l’essai	6
2. CYCLE DE VIE DES TÉLÉPHONES INTELLIGENTS	8
2.1 Phase de fabrication.....	8
2.1.1 Exploitation minière, extraction et raffinage des matières premières.....	8
2.1.2 Fabrication des composants et assemblage du téléphone	10
2.2 Phase de distribution	13
2.2.1 Transport des composants et distribution des appareils.....	13
2.3 Phase d’utilisation	14
2.3.1 Consommation d’énergie.....	14
2.3.2 Réseau et données mobiles	15
2.4 Phase de fin de vie.....	15
2.4.1 Recyclage et valorisation	15
2.4.2 Élimination	15
2.5 Analyse du cycle de vie.....	16
3. CONTEXTE MONDIAL ET QUÉBÉCOIS DES TÉLÉPHONES INTELLIGENTS	19
3.1 Modèle d’affaires	19
3.2 Marché économique	21
3.2.1 Marché actuel	21
3.2.2 Cycle de remplacement.....	22
3.2.3 Réseau mobile.....	24
3.2.4 Prévisions.....	25
3.3 Obsolescence	26
3.3.1 Obsolescence programmée	28
3.3.2 Obsolescence technologique (relative)	29
3.3.3 Obsolescence économique (relative)	30
3.3.4 Obsolescence psychologique (relative)	30
3.3.5 Décision de remplacement d’un ancien TI et éléments influençant l’achat d’un nouvel appareil.....	31
3.4 Comportement des consommateurs avec leur TI en fin de vie.....	31

3.5	Entreprise de réparation au Québec.....	33
3.6	Portrait du contexte québécois de la fin de vie des TI.....	34
3.6.1	Programme de collecte et de recyclage des TI et DEEE au Québec/Canada	35
3.6.2	Entreprise de réemploi et de recyclage certifiée	38
3.7	Déchets d'équipements électriques et électroniques	40
3.8	Traitement DEEE	41
3.9	Législation.....	43
3.9.1	Obsolescence	44
3.9.2	Responsabilité élargie des producteurs.....	45
3.9.3	Exportation des DEEE.....	46
4.	ACTIONS CIRCULAIRE ET ALTERNATIVES DES ACTEURS	48
4.1	Les moteurs du changement du modèle économique linéaire.....	48
4.1.1	Définition, principes, boucles et piliers de l'économie circulaire	50
4.2	Limitations	54
4.3	Acteurs économiques, fabricants des appareils et des logiciels	55
4.3.1	Écoconception	55
4.4	Demande et comportement des consommateurs	59
4.4.1	Allongement de la durée d'usage	59
4.4.2	Consommation responsable	60
4.5	Recyclage et gestion des TI en fin de vie.....	63
4.5.1	Fabricants des TI	64
4.5.2	Établissement de traitement et recyclage des DEEE	67
4.5.3	Collecte des TI usagés	67
4.5.4	Comportement des utilisateurs envers leur TI en fin de vie	68
5.	ÉVALUATION DES STRATÉGIES DE RESSOURCES	69
5.1	Analyse multicritère	69
5.1.1	Explication des critères d'évaluation utilisés.....	69
5.1.2	Résultats.....	70
5.1.1	Justifications des pointages accordés.....	73
5.1.2	Scénario actuel vs scénario de cycle de vie circulaire allongé	76
5.1.3	Discussion.....	79
6.	RECOMMANDATIONS	83
6.1	Sensibilisation des citoyens-consommateurs	83
6.2	Entreprises de l'industrie du TI	84

6.3	Autorités politiques	85
	CONCLUSION	86
	RÉFÉRENCES.....	89
	BIBLIOGRAPHIE	99
	ANNEXE 1 – PROPORTION DES MÉTAUX DANS UN TI.....	100
	ANNEXE 2 – ÉVALUATION DES STRATÉGIES DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE	101
	ANNEXE 3 – OPTIONS DE RECYCLAGES POUR LES TÉLÉPHONES INTELLIGENTS ET TABLETTES	102
	ANNEXE 4 – LA ROUE DE MÉTAL	103
	ANNEXE 5 – RECHERCHE D'INFORMATION PAR LES CONSOMMATEURS.....	104

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 2.1 : Étapes pouvant faire partie du cycle de vie des téléphones intelligents	8
Figure 2.2 : Liste des métaux présents dans un TI	11
Figure 2.3 : Poids (g) des matériaux de différents modèles de iPhone	12
Figure 2.4 : Schématisation du transport et de la distribution de la fabrication d'un TI	14
Figure 2.5 : Émissions de gaz à effet de serre (kg eqCO_2) par appareil basés sur le cycle de vie de.....	
différents modèles d'iPhone de Apple	17
Figure 3.1 : Résultats d'un sondage sur la durée d'utilisation des TI des Canadiens n=3000	23
Figure 3.2 : Évolution des téléphones mobiles et des utilités en fonction des types de réseau	24
Figure 3.3 : Volume de vente en millions d'unité et croissance d'année en année des TI dans un	
marché pré-5G	26
Figure 3.4 : Procédés de gestion des produits des technologies de l'information en fin de vie utile	35
Figure 3.5 : Cheminement des EEE en fin de vie utile, selon une gestion écologiquement rationnelle, dans	
un établissement de recyclage.....	39
Figure 4.1 : Extraction mondiale des ressources de 1980 à 2020.....	49
Figure 4.2 : Principe et caractéristique fondamentaux	51
Figure 4.3 : Schéma de l'ÉC selon l'ADEME	52
Figure 4.4 : Catégorisation des approches linéaires et circulaire pour réduire l'utilisation des ressources	54
Figure 4.5 : Schéma de l'écoconception et de la conception traditionnelle	55
Figure 5.1 : Une nouvelle vision circulaire pour les électroniques	78
Figure 5.2 : Représentation du scénario actuel et du scénario de boucle circulaire allongée.....	79
Tableau 3.1 : Classification de l'obsolescence pour les TI	28
Tableau 3.2 : Pratiques de disposition des téléphones portables par les Canadiens.....	33
Tableau 4.1 : Critères d'écoconception pour la stratégie de ralentissement de boucle des ressources	57
Tableau 4.2 : Actions proposées afin de changer la demande et le comportement des consommateurs	63
Tableau 4.3 : Critères d'écoconception pour la stratégie de fermeture de boucle des ressources.....	66
Tableau 5.1 : Résultats de l'analyse multicritère pour la stratégie de ralentissement de la boucle des	
ressources	71
Tableau 5.2 : Résultats de l'analyse multicritère pour la stratégie de fermeture de la boucle des	
ressources	72
Tableau 5.3 : Règlementation, fiscalité et autres leviers à la disposition des gouvernements pour stimuler	
l'ÉC.....	80

LISTE DES ACCRONYMES; DES SYMBOLES ET DES SIGLES

3RV-E	Réduction, réutilisation, recyclage, valorisation, élimination
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ACTS	Association canadienne des télécommunications sans fil
ACV	Analyse de cycle de vie
ARPE	Association pour le recyclage des produits électroniques;
BQR	Bureau de la qualification des recycleurs
CCCD	Conseil canadien du commerce de détail
CI	Circuit intégré
DEEE	Déchet d'équipement électrique et électronique
ÉC	Économie circulaire
EDDEC	Environnement, du développement durable et de l'économie circulaire
eqCO ₂	Équivalent de dioxyde de carbone
É-U	États-Unis
Fe	Fer
Ex.	Exemple
Eb	Exabyte
Gb	Gygabyte
GES	Gaz à effet de serre
IdO	Internet des objets
ISO	Organisation internationale de normalisation
Kg	Kilogramme
kT	Kilotonne
LTE	Long terme evolution
Mb	Mégabyte
Ms	Millisecondes
NRPE	Norme de recyclage des produits électronique
ODCE	Organisation de coopération et de développement économique
ONU	Organisme des Nations Unies
PEFVU	Produits électroniques en fin de vie utile
PQFSR	Programme de qualification des fournisseurs de services de recyclage
PQR	Programme de qualification des recycleurs
PRRPE	Programme de réemploi et de remise en état des produits électroniques
REP	Responsabilité élargie des producteurs

RPEC	Recyclage des produits électroniques Canada
TI	Téléphone intelligent
TIC	Technologie de l’information et des communications
TR	Terres rares

LEXIQUE

Cycle de vie	Prend en compte toutes les activités qui entrent en jeu dans la fabrication, l'utilisation, le transport et l'élimination d'un produit (Actu-Environnement, 2019).
Écoconception	L'intégration des caractéristiques environnementales dans la conception du produit en vue d'améliorer la performance environnementale du produit tout au long son cycle de vie (Parlement européen et du Conseil, 2009)
Économie circulaire	Système de production, d'échange et de consommation visant à optimiser l'utilisation des ressources à toutes les étapes du cycle de vie d'un bien ou d'un service, dans une logique circulaire, tout en réduisant l'empreinte environnementale et en contribuant au bien-être des individus et des collectivités » (Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire [Institut EDDEC], 2019).
Empreinte écologique	Superficie de terre productive et d'écosystèmes aquatiques nécessaires à produire les ressources utilisées et à assimiler les déchets produits par une population définie à un niveau de vie matériel spécifié, là où cette terre se trouve sur la planète (Gouvernement du Canada, 2020)
Obsolescence	Dépréciation d'un matériel ou d'un équipement avant son usure matérielle (Équiterre, 2018).
Obsolescence programmée	Ensemble de stratégies mises en œuvre par le fabricant afin qu'il puisse prédire la période au bout de laquelle un bien ne devrait plus être fonctionnel ou désiré par son usager (Bordage, 2019).

INTRODUCTION

Les ressources naturelles alimentent nos économies et soutiennent le développement humain et le bien-être. Notre dépendance envers ces ressources nous lie directement avec l'environnement d'où elles sont extraites et où elles retourneront ultimement sous forme de déchet et d'émissions. La croissance de l'utilisation mondiale des matériaux s'est accélérée depuis les années 1970. Entre 1970 et 2010, l'économie mondiale a plus que triplé, la population quasiment doublé et l'extraction mondiale des ressources naturelles triplé (Programme des Nations unies pour l'environnement [PNUE], 2016).

Les matériaux sont utilisés dans tous les secteurs, soit aussi bien pour l'alimentation que pour la construction et les biens de consommation, dont font partie les produits électroniques. L'innovation technologique et la réduction des coûts ont d'ailleurs rendu les produits électroniques plus accessibles à tous (Platform for Accelerating the Circular Economy [PACE], 2019; RECYC-QUÉBEC, 2009).

L'apparition des téléphones intelligents (TI), il y a un peu plus de 10 ans, a complètement changé nos vies et le monde. En effet, l'accessibilité à ce produit électronique a permis à plus de gens de posséder un TI. Ainsi, en 2019, pas moins de 41,5% de la population mondiale en possédait au moins un (Statista, 2019a). Dans les pays développés, ce taux augmente : simplement au Canada, 71% des citoyens sont propriétaires d'au moins un TI (Statista, 2019b).

Or, tout au long de leur cycle de vie, les TI génèrent des impacts, de leur fabrication jusqu'à leur fin de vie en passant par leur utilisation. La phase de fabrication est responsable de près des trois quarts des impacts des TI. Ceux-ci sont principalement dus à l'extraction des ressources naturelles. En effet, les TI demandent une grande diversité de matériaux, en petite quantité. Cependant, lorsqu'on multiplie cette quantité par le nombre d'unités produites mondialement, les quantités de ressources deviennent importantes. Annuellement, près de 1,5 milliard d'appareils sont produits. L'extraction des ressources nécessaires à leur fabrication occasionne donc d'importants impacts environnementaux, auxquels s'ajoutent des impacts sociaux et sanitaires (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie [ADEME], 2017a; France Nature Environnement [FNE], 2017; Blandin, 2016).

En conséquence, il est crucial de trouver une solution à cette situation, car la production à long terme d'un aussi grand nombre de TI n'est pas soutenable. Cet essai tente de trouver des moyens afin de réduire les impacts de la fabrication des TI, qui se trouvent être les appareils électroniques qui en génèrent le plus (Otkö Institute, 2016). Pour ce faire, cet essai explore l'économie circulaire, une économie alternative à l'économie linéaire qui régit notre monde. L'objectif principal de l'essai est d'évaluer si l'application de certaines

actions de l'économie circulaire à deux stratégies de ressources distinctes, au Québec, permettrait de réduire l'épuisement des ressources non renouvelables causé par la production des TI.

Pour arriver à cet objectif, cet essai est divisé en six chapitres. Le premier chapitre est consacré à la mise en contexte de la problématique et présente les objectifs, la portée et les limitations de l'essai. Le chapitre deux expose les notions théoriques du cycle de vie et les éléments présents dans celui des TI. Le chapitre trois, pour sa part, traite de plusieurs sujets pour brosser le portrait mondial et québécois des TI. Il traite entre autres du modèle d'affaires actuel, de l'économie, de l'obsolescence, de la gestion en fin de vie des appareils et de la législation québécoise. Le chapitre quatre présente le modèle d'ÉC et les actions utilisées dans les deux stratégies de ressources présentées dans l'essai. Le chapitre cinq, quant à lui, présente une analyse multicritère afin de répondre à l'objectif de l'essai. Par la suite, deux scénarios sont comparés pour estimer les gains potentiels en termes de réduction de l'épuisement des ressources. Pour terminer ce chapitre, deux éléments essentiels à la mise en place de l'ÉC sont discutés. Le dernier chapitre présente les recommandations de l'essai séparé en trois, selon les acteurs concernés, c'est-à-dire les consommateurs, l'entreprise et l'autorité politique.

Une revue de littérature a été réalisée et l'information a été traitée afin de comprendre le portrait complexe des TI. Puisque le secteur des TI varie considérablement et change rapidement, la majorité des sources utilisées sont postérieures à 2015 et la totalité est postérieure à 2010, à l'exception de quelques documents. La recherche de la littérature n'est pas exhaustive, car les sujets traités dans cet essai peuvent être très spécifiques et beaucoup d'information était disponible. Cependant, toutes les sources pertinentes et nécessaires à l'atteinte de l'objectif ont été examinées. De plus, la crédibilité des sources a été analysée en ce qui concerne la fiabilité des informations. Les organisations scientifiques reconnues, les organisations gouvernementales, et les articles provenant de revues reconnues ont été privilégiés.

1. MISE EN CONTEXTE

Comme mentionné dans l'introduction, les TI, qui font maintenant partie de notre mode de vie, occasionnent d'importants impacts au cours de leur cycle de vie. La problématique des TI englobe plusieurs aspects. Pour avoir une meilleure compréhension de la situation, la mise en contexte soulève ces différents aspects. Les objectifs de l'essai y sont également mentionnés afin d'établir un lien avec le but de ce document. La portée de l'essai est indiquée afin de mettre l'accent sur la problématique majeure.

1.1 Problématique : la production insoutenable des téléphones intelligents

Primairement, un téléphone portable est un appareil électronique capable de recevoir et d'émettre des données transmises à distance par l'intermédiaire d'ondes sur certaines fréquences du spectre radioélectrique (Blandin, 2016). La différence entre les deux types d'appareil réside dans l'addition de plusieurs fonctions aux téléphones intelligents. Les nouvelles fonctionnalités relèvent de 3 ordres : la prise d'images, la connectivité au réseau internet et la possibilité d'interactions avec l'environnement (France Nature Environnement [FNE], 2017). Le succès de la commercialisation du téléphone intelligent repose également sur de meilleures capacités de transmission (FNE, 2017). Graduellement, la proportion des gens possédant un téléphone intelligent par rapport à ceux possédant un simple téléphone portable a augmenté et a éventuellement surpassé ces derniers. Leur apparition a débuté en 2007 ; depuis, pas moins de 10,1 milliards de téléphones intelligents ont été vendus mondialement. L'augmentation des ventes était exponentielle entre les années 2009 et 2014 et semble s'être stabilisée au cours des dernières années après avoir connu une année record en 2018 avec 1,56 milliard d'appareils vendus (Statista, 2019b).

La courbe d'innovation technologique et la saturation du marché des pays développés sont les facteurs qui expliquent ce ralentissement (Greenpeace, 2017a; Green Alliance, 2015; Conwell, 2018, 23 février 2018; Hamblen, 2014; Fowler, 2018, 2 février). Même si les ventes annuelles semblent se stabiliser, il n'en demeure pas moins que la quantité d'appareils produits et vendus par année est très importante. Les pays en développement et l'augmentation de la population mondiale devraient néanmoins entraîner une augmentation graduelle du nombre d'utilisateurs des téléphones intelligents (International Data Corporation [IDC], 2018; Statista, 2019c,d).

Les avantages des téléphones intelligents sont cependant accompagnés par des problématiques qui touchent plusieurs secteurs. En effet, ils provoquent d'importants impacts environnementaux, sociaux et sanitaires durant leurs cycles de vie (de l'extraction des matières premières à leur fabrication, leur transport, leur utilisation jusqu'à leur fin de vie). Au cours de leur cycle de vie, ils causent les impacts environnementaux

suivants : l'épuisement des ressources naturelles, des dommages sur la biodiversité ou encore la pollution par des substances toxiques dans l'environnement et l'émission de gaz à effet de serre (ADEME et al., 2018). Cependant, environ 70-80% des impacts sont liés à la fabrication des appareils, de l'extraction des minerais à l'assemblage final (FNE, 2017; Otkö Institute, 2016; Greenpeace, 2017b; ADEME, 2017a; Pôle de compétence en Environnement des industries Électrique et Électroniques [CODDE], 2008, Ercan, Malmodin, Bergmark, Kimfalk et Nilsson, 2016; ADEME et al., 2018), qui sont en grande partie attribués à l'écran et aux composants électroniques complexes (microprocesseurs) (ADEME, 2017a, ADEME et al., 2018). Plus la taille des écrans est grande, plus les impacts environnementaux sont élevés et la tendance actuelle est aux grands écrans (ADEME, 2017a).

Trois problématiques sont soulevées. La première concerne l'augmentation des ressources requises pour sa fabrication. En effet, la complexité des appareils fait augmenter le nombre de matériaux nécessaires à leur fabrication. Il est évalué qu'il faut environ 70 matériaux différents pour fabriquer un téléphone intelligent (FNE, 2017; Otkö Institute, 2016; ADEME, 2017a). Parmi ces matériaux, une cinquantaine de métaux sont utilisés, soit environ le double des téléphones portables d'ancienne génération (Otkö Institute, 2016). Selon les calculs de l'ADEME, « pas moins de 70 kilos de matières premières sont nécessaires pour produire, utiliser et éliminer un seul téléphone intelligent, soit 600 fois le poids d'un téléphone » (Blandin, 2016). La quantité d'appareils produits et leurs demandes en ressource font en sorte qu'ils sont devenus l'un des biens de consommation les plus insoutenables. L'extraction des matières premières comporte de grandes conséquences environnementales et sociales. L'exploitation des mines cause entre autres la destruction d'écosystèmes, la pollution de l'eau, de l'air et des sols (ADEME, 2017a). Les réserves mondiales de certains minéraux rares ne pourront supporter à long terme la demande pour la production des téléphones intelligents et autres appareils électroniques (Otkö Institute, 2016; PACE, 2019). L'extraction des matières premières occasionne également des impacts sociaux, par exemple des conditions de travail difficiles et pouvant menacer la vie des mineurs (Greenpeace, 2017b; Otkö Institute, 2016; ADEME et al., 2018 et al.). L'extraction de ces ressources peut en plus alimenter des conflits armés, comme c'est le cas en République Démocratique du Congo (Greenpeace, 2017b; Otkö Institute, 2016; FNE, 2017; PACE, 2019).

Lors de l'étape de la fabrication, les travailleurs dans les usines d'électronique sont parfois exposés sans le savoir à des produits chimiques dangereux qui peuvent s'avérer nuisibles à leur santé (Greenpeace, 2017b). L'augmentation de la complexité des appareils demande une plus grande consommation d'énergie lors de la fabrication. L'accroissement de cette demande en énergie se traduit en une augmentation de l'utilisation du charbon et d'autres formes d'énergie sale (Otkö Institute, 2016; Greenpeace, 2017a,b; ADEME, 2017a).

La deuxième problématique concerne le traitement en fin de vie des TI. Au cours de cette phase, une importante quantité de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) est générée (PACE, 2019). Les DEEE se définissent comme tout ce qui comprend une prise, un cordon électrique ou une batterie, des grille-pains aux brosses à dents, téléviseurs, réfrigérateur, etc., qui ont atteint leur fin de vie. (Basel Convention, 2019). Il s'agit de la filière qui croît le plus rapidement parmi tous les déchets mondiaux (Green Alliance, 2015). En 2016, pas moins de 44,6 millions de tonnes métriques de DEEE ont été générées, soit l'équivalent d'environ 45 000 tours Eiffel. En 2021, il est estimé que 52,2 tonnes métriques seront produites annuellement dans le monde (Baldé, Forti, Gray, Kuehr et Stegmann, 2017). Les téléphones portables font partie de la catégorie des petits appareils de technologie de l'information et communication (Forti, Baldé et Kuehr, 2015). Cette catégorie représente environ 8,7% des DEEE générés en 2016 (Baldé et al., 2017). Les DEEE des pays développés sont parfois exportés illégalement dans des pays en développement et seront recyclés de façon informelle (Soo et Doolan, 2014; ADEME, 2019). Le recyclage informel des pays en développement est plus efficace, mais celui-ci utilise des méthodes d'extraction qui occasionnent davantage d'impacts environnementaux (Soo et Doolan, 2014). Les DEEE peuvent être toxiques, ne sont pas biodégradables et s'accumulent dans l'environnement, le sol, l'air, l'eau ainsi que dans les êtres vivants. Ils peuvent également avoir des impacts sur la santé (PACE, 2019). La reprise insuffisante des produits et de la réutilisation des matériaux contribue à la croissance rapide de la filière des DEEE, nécessite l'utilisation de plus de matériaux primaires bruts et en gaspille énormément (Greenpeace, 2017b; PACE, 2019; Baldé et al., 2017). Selon le rapport de suivi des DEEE de 2017, le montant potentiel de la valeur des matériaux brutes dans les DEEE de 2016 était estimé à 55 milliards d'Euros (Baldé et al., 2017). D'où la nécessité de les recycler de façon formelle et d'adopter de bonnes pratiques de recyclage.

La troisième problématique soulevée est la fréquence de remplacement prématuré des TI par les consommateurs, ce qui augmente la demande et aussi le nombre d'appareils produits. Les téléphones intelligents sont souvent remplacés bien avant qu'ils ne soient plus fonctionnels. Selon une étude réalisée par l'ADEME, la durée de vie moyenne attendue pour les téléphones intelligents est de 4 ans, alors que la durée de vie idéale attendue par les utilisateurs est de 6 ans (ADEME, 2017b). Cependant, ils sont la plupart du temps remplacés après seulement deux ans d'utilisation (ADEME, 2017a,b; Greenpeace, 2017b). Selon les résultats de l'étude de l'ADEME, « 88% des téléphones remplacés fonctionnaient encore au moment de leur remplacement (44% fonctionnaient encore correctement, 44% ne fonctionnaient plus très bien) » (ADEME, 2017b). Il est donc très inquiétant de constater que le cycle de renouvellement de ceux-ci est si court. Plusieurs facteurs contribuent à diminuer la durée du cycle de remplacement. Nous sommes incités par le biais de la publicité et de la mode à acheter de nouveaux équipements qui offrent de nouvelles fonctionnalités et design ; de plus, les TI ne sont pas non plus conçus pour être réparables, compatibles et

évolutifs dans le temps. La diversification des usages et l'évolution technique des TI, mise en valeur par les campagnes publicitaires agressives, encouragent les consommateurs à acheter de nouveaux appareils. Certaines décisions d'achat sont motivées par l'engouement suscité par les phénomènes de mode, indépendamment de l'âge réel du téléphone possédé. En outre, le modèle d'affaires actuel des compagnies manufacturières et des compagnies de logiciel ne favorise pas la longévité des appareils (Green Alliance, 2015; Greenpeace, 2017a; Bocken, Pauw, Bakker et Grinten, 2016). Il est donc primordial de trouver des solutions pour augmenter la durée du cycle de remplacement, permettant ainsi de réduire la demande et par ce fait même la production des téléphones intelligents. Il est tout aussi urgent de trouver des solutions afin de réduire l'extraction des matières premières lors de la production afin d'améliorer la gestion de fin de vie des TI.

1.2 Objectifs et portée de l'essai

L'essai se concentre sur la phase de fabrication, car elle génère environ les trois quarts des impacts dans le cycle de vie du TI. La portée de l'essai se limite aux bénéfices des deux stratégies de ressources de l'ÉC présentées sur l'épuisement de ceux-ci, même si elles réduisent également d'autres impacts. Les stratégies atténuent également d'autres impacts, mais ceux-ci ne seront pas abordés. L'objectif de l'essai vise principalement les ressources non renouvelables, car l'extraction des métaux en particulier occasionne davantage d'impacts. Pour le reste de l'essai lorsque ce n'est pas spécifié, le terme impacts englobe tous les impacts environnementaux, sociaux et sanitaires.

L'objectif général de cet essai est de déterminer si l'application de certaines actions de l'économie circulaire (ÉC) dans le cadre d'une stratégie de ralentissement de boucle et de fermeture de boucle de ressources, au Québec, permettrait de réduire l'épuisement des ressources non renouvelables causé par la production des téléphones intelligents.

L'objectif secondaire est de broser un portrait global des téléphones intelligents au Québec et mondialement, afin de répondre à l'objectif principal.

Voici la liste des objectifs spécifiques qui permettront d'atteindre l'objectif général et l'objectif secondaire :

- Vérifier si les actions de l'ÉC dans la stratégie de ralentissement permettraient d'allonger la durée du cycle de remplacement des TI par les consommateurs;
- Vérifier si les actions de l'ÉC dans la stratégie de fermeture de boucle des ressources permettraient de remettre en boucle plus de matériaux;

- Vérifier si une augmentation de la durée du cycle de remplacement et le recyclage des téléphones intelligents réduiraient le taux d'extraction des ressources naturelles pour la production des TI;
- Déterminer si les principes de l'économie circulaire seraient applicables au Québec et à l'échelle mondiale;

2. CYCLE DE VIE DES TÉLÉPHONES INTELLIGENTS

Le cycle de vie d'un téléphone intelligent comprend 4 phases : fabrication, distribution, utilisation et fin de vie (FNE, 2017). La figure 2.1 illustre les étapes de chacune des phases possibles qui composent le cycle de vie des téléphones intelligents. La majorité des étapes d'une phase demandent de l'énergie et la totalité génèrent des émissions et des déchets. La portée de cet essai se limite principalement au cycle de vie de l'appareil en tant que tel. Ce chapitre, pour sa part, se concentre plus particulièrement sur la phase de fabrication.

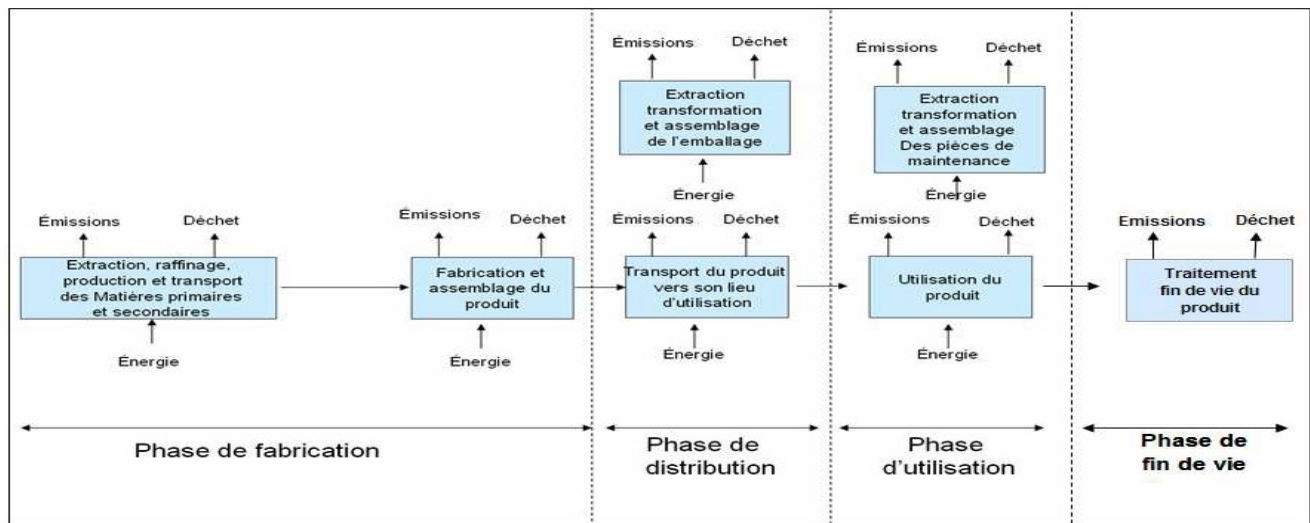


Figure 2.1 - Étapes pouvant faire partie du cycle de vie des téléphones intelligents (tiré de : CODDE, 2008).

2.1 Phase de fabrication

La phase de fabrication regroupe la conception, l'extraction et la transformation des matières premières, la fabrication des principaux composants et l'assemblage. Comme mentionné précédemment, cette phase est celle qui génère le plus d'impacts. C'est pour cette raison qu'elle est relatée de manière plus détaillée. À noter que dans certaines analyses de cycle de vie (ACV), l'extraction des matières premières et la fabrication sont séparées en 2 phases distinctes. Cependant, étant donné que la majorité des ACV regroupent ces 2 étapes, elles sont combinées en une seule phase ici.

2.1.1 Exploitation minière, extraction et raffinage des matières premières

Après la conception d'un téléphone intelligent, l'étape suivante dans son cycle de vie est l'extraction des matières premières. Les TI sont composés de 40-60 % de métaux, de 30-50 % de plastiques et matières synthétiques ainsi que de 10-20 % de verre et de céramique. Le figure A.1 de l'annexe 1 présente la proportion des métaux présents dans un TI (FNE, 2017).

Dans une perspective de développement durable, pour que la production de TI soit soutenable, son coût économique, social et environnemental doit être acceptable. La soutenabilité de cette production est aussi dépendante de la disponibilité des ressources qui lui sont nécessaires. Même si la quantité de métaux par appareil est très faible, puisqu'un grand nombre d'unités sont fabriquées, la production totale de téléphone représente une part significative de la production mondiale de ces éléments. Par exemple, en 2014, la production totale de TI a utilisé, dans le cas du palladium, 7,5 % de la production mondiale de cet élément ; pour le cobalt, il s'agissait de 6,1 %, pour l'argent 1,5 %, pour l'or 1,4 % et pour l'indium 0,8 % (Otkö Institute, 2016).

Un grand nombre de matières premières utilisées pour la fabrication des téléphones portables sont exposées à des risques d'approvisionnement. Plusieurs de ces matières premières minérales sont identifiées comme critiques (Blandin, 2016). Le cuivre, le zinc, l'argent, l'or, le palladium, le néodyme, l'indium, le tantale, le tungstène et les terres rares (TR) en font partie et sont présents dans la quasi-totalité des téléphones portables (Reuter et al., 2013). Selon une autre source, il existera, au cours des 100 prochaines années, un risque d'approvisionnement sérieux pour 7 minéraux, dont 5 font partie des composants des TI : le zinc, le gallium, le germanium, l'arsenic, l'argent et l'indium (PACE, 2019).

L'extraction des matières premières est principalement limitée à celle des terres rares (TR) et des minéraux. Certains éléments minéraux génèrent plus d'impacts lors de l'extraction et de la transformation; c'est le cas des TR, qui constituent un groupe de métaux aux propriétés semblables composés du scandium, de l'yttrium et des quinze lanthanides. Ceux-ci disposent de propriétés spéciales au niveau chimique, catalytique, électrique, magnétique et optique. Les TR sont ainsi grandement utilisées dans différents secteurs traditionnels, y compris l'agriculture, la pétrochimie, la métallurgie, les technologies modernes, les véhicules électriques, etc. (McLellan, Gorder et Ali, 2013). Elles sont produites dans quelques pays seulement. La production mondiale en 2018 était de 170 000 tonnes métriques, principalement fabriquées en Chine (70 %), en Australie (11,76 %) et aux États-Unis (ÉU) (8,82 %) (U.S. Geological Survey, [USGS], 2019). Contrairement à ce que leur nom peut laisser croire, ces métaux ne sont pas rares. Les TR sont relativement nombreuses ; cependant, elles sont dispersées à travers le monde et trouvées en faible concentration (Zaimas, Hubler, Wang et Khanna, 2015), ce qui occasionne des procédés d'exploitation minière et d'extraction causant plus d'impacts environnementaux. En effet, l'extraction est réalisée par différents types d'exploitation minière et de procédés chimiques et physiques souvent inefficaces et générant des boues chimiques. En effet, seulement une partie de ce matériel est considérée utilisable, soit environ 12 % (Rodriguez, Carrasquillo, Lee, Lee et Zhou, 2015). Les boues peuvent s'infiltrer dans les eaux souterraines et s'avérer dangereuses pour l'environnement (Ge, Lei et Zhao, 2016). Les TR sont transformées, par le biais de différents traitements, en oxydes de terres rares de type légères, moyennes ou

lourdes. Au cours du processus, une grande quantité d'eau et d'énergie est requise (Haque, Hughes, Lim et Vernon, 2014). Effectivement, la production d'oxydes de terres rares lourdes demande une grande quantité d'énergie primaire : par unité de masse, elle représente 20 fois celle de l'acier. (Zaimes et al., 2015). La figure A.1 de l'annexe 2 représente les processus d'extraction des oxydes d'éléments de TR (REOs) et de transformation des minerais en TR pure à 99,99+% (REEs), séparés en cinq étapes générales (Navarro et Zhao, 2014).

Comme vu dans la mise en contexte, l'extraction des matières premières et la production des TI entraînent des impacts environnementaux et sociaux. La quantification des impacts environnementaux des différentes phases sera abordée plus en détail dans la section 2.5 Analyse de cycle de vie. La chaîne d'approvisionnement pour les ressources des TI est longue et complexe. La principale considération éthique sur le plan de l'approvisionnement des ressources pour la fabrication des TI concerne les minerais de conflit, tels que le tantale, l'étain, le tungstène et l'or, regroupés sous l'appellation « 3TG » (Blandin, 2016; Otkö Institute, 2016; Greenpeace, 2017a). Ces minerais sont extraits dans des territoires troublés par des conflits armés. Les exploitations sont souvent contrôlées ou protégées par des groupes armés et les revenus participent à l'entretien des conflits (Blandin, 2016). Les exploitations causent des tensions au sein des populations locales, qui n'en bénéficient pas (Otkö Institute, 2016). Les conflits ont été très présents en République démocratique du Congo et dans ses pays voisins, mais ne leur sont pas exclusifs. Les conditions d'exploitation des mineurs sont souvent difficiles : morts accidentelles fréquentes, problèmes d'hygiène, travail d'enfants et d'adolescents, insécurité et conditions dangereuses (Blandin, 2016; Otkö Institute, 2016; Greenpeace, 2017a; ADEME et al., 2018). Plus loin dans la chaîne de fabrication, les activités des sous-traitants de certains fabricants ont également été critiquées en ce qui concerne les droits du travail : temps de travail excessif, emploi de mineurs, pénibilité (Blandin, 2016).

2.1.2 Fabrication des composants et assemblage du téléphone

De façon simplifiée, un TI est composé de quatre éléments :

1. une **coque**, généralement en matière plastique, qui comprend souvent des retardateurs de flamme bromés ;
2. un **écran**, composé de plusieurs couches : film de protection, dalle tactile qui localise le signal par induction, couche de verre et l'écran en tant que tel, comprenant de l'indium, des connexions dorées, des cristaux liquides et des luminophores à base de terres rares ;
3. une **batterie** lithium-ion, qui comprend du lithium, du cobalt, des connexions en or et un électrolyte fluoré ;

- une **carte électronique**, qui comprend des métaux de base, précieux et rares, des terres rares, des matières plastiques et des fibres de verre pour le support en résine époxy (FNE, 2017).

La fabrication d'un TI requiert entre 60 et 70 éléments pour sa création (Greenpeace, 2017a; Otkö Institute, 2016). Il faut un plus grand nombre d'éléments pour la fabrication d'un TI que pour celle d'un téléphone portable d'ancienne génération, mais la quantité de chaque élément est plus petite (FNE, 2017; Greenpeace, 2017a). La figure 2.3 présente la liste non exhaustive des métaux présents dans les différents composants d'un TI.

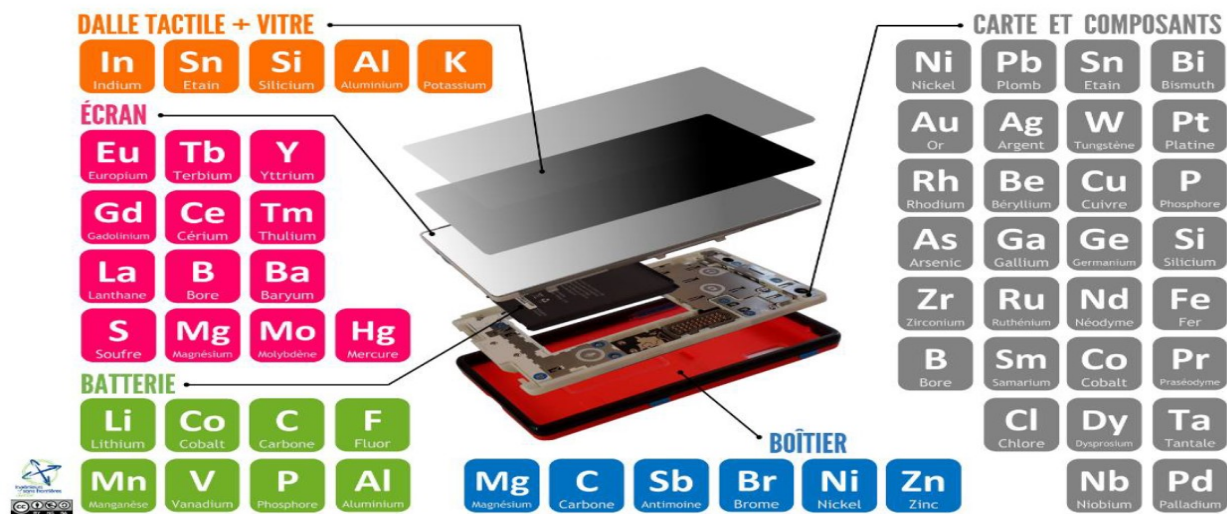


Figure 2.2 - Liste des métaux présents dans un TI (tiré de : FNE,2017)

Le grand nombre et la dispersion des activités industrielles liées à la fabrication d'un TI accroissent les impacts liés à cette phase. En effet, selon (Greenpeace, 2017a), près de 180 étapes sont nécessaires pour la production des composants électroniques. Il est difficile de connaître exactement la composition d'un TI, car les fabricants ne sont pas transparents en ce qui concerne leurs appareils. Selon le rapport d'information du Sénat de France sur les téléphones portables, plusieurs représentants de distributeurs ont indiqué qu'ils ne possédaient pas d'information précise sur la composition des téléphones vendus. Il est donc possible que même pour les producteurs, il soit difficile de connaître exactement la composition des téléphones, car il existe un trop grand nombre d'étapes dans la chaîne (Blandin, 2016). Les rapports environnementaux des iPhones de Apple permettent cependant d'avoir une idée générale de la distribution des matériaux dans leur composition. La figure 2.2 regroupe la distribution des matériaux utilisés pour 6 modèles de iPhones, 3 modèles réguliers et 3 modèles grand format.

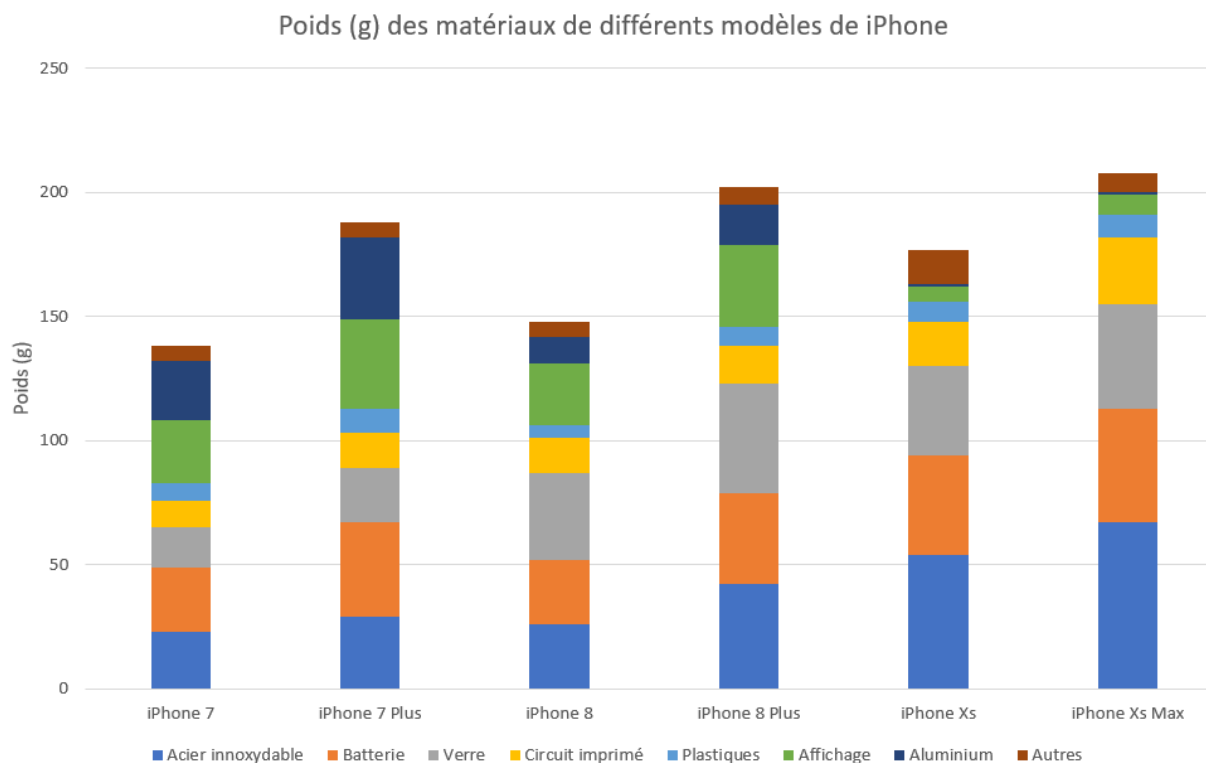


Figure 2.3 - Poids (g) des matériaux de différents modèles de iPhone (Inspiré de : Apple, 2017a,b,c,d; 2018b,c)*

* les % relatifs ont été arrondis à l'unité près

La figure 2.3 permet d'observer que la composition des modèles de iPhones change selon les modèles. On peut observer une légère tendance à l'augmentation du poids des appareils à travers l'évolution des modèles. Les modèles grand format requièrent évidemment plus de matériaux pour leur fabrication.

L'empreinte énergétique lors de la fabrication des TI est aussi importante. L'énergie est nécessaire lors de la transformation de plusieurs matières premières et lors de la fabrication des composants. Pour fabriquer les 7 milliards de TI produits entre 2007-2016, 968 TWh ont été consommés, ce qui représente presque autant que la consommation électrique de l'Inde en 2016 (Greenpeace, 2017a). Le composant le plus énergivore et ayant le plus d'impacts sur le plan environnemental lors de la fabrication est le circuit intégré (CI), suivi de la carte de circuit imprimé (Proske, Clemm, Richter et Fraunhofer, 2016 ; Ercan et al., 2016). Ces composants occasionnent plus d'impacts, car les matériaux nécessaires à leurs fabrication provoquent davantage de pollution lors de leur extraction, tels que les terres rares et l'or (PACE, 2019). Une fois les composants du TI fabriqués, ils sont envoyés à l'usine d'assemblage où le produit final est assemblé. Il est à noter que le produit final comprend également les accessoires, câble USB, chargeur, écouteurs et il doit

être emballé. Les accessoires et l'emballage représentent une portion négligeable, soit environ 6 % de la production de gaz à effet de serre (GES) dans le cycle de vie du TI (Ercan, 2013). Les accessoires ne sont pas inclus dans l'ACV.

2.2 Phase de distribution

Cette phase comprend la distribution et le transport vers les pôles de consommation. Elle est présente à toutes les phases du cycle de vie. Dans cet essai, elle est séparée pour suivre les phases de cycle de vie d'un téléphone représenté dans la majorité des ACV.

2.2.1 Transport des composants et distribution des appareils

Après l'extraction et la transformation, les matières premières doivent être transportées vers les usines de fabrications des composants. Ce transport peut être effectué par voie routière ou marine. Le produit final est ensuite distribué à travers le monde, souvent par avion. (ADEME, 2017a). En 2013, selon Satish Jindel, un consultant en logistique d'industrie et président de SJ Consulting Group, FedEx expédiait les produits d'Apple de la Chine jusqu'aux États-Unis (É-U), principalement à l'aide de Boeing 777s. Le vol durait une quinzaine d'heures, sans avoir besoin de faire le plein lors du trajet. Le Boeing pouvait transporter approximativement 450 000 iPhones, le vol coûtait environ 242 000 \$ US, et l'essence comptait pour la majorité des dépenses. (Santariano, 2013)

La figure 2.4 montre les principales routes de transport et distribution pour la fabrication d'un téléphone intelligent. On remarque que la distance parcourue pour la fabrication d'un TI est très grande et qu'il y a énormément de va-et-vient entre les différents pays à travers le monde.

Selon une étude sur le potentiel de réchauffement climatique des TI en 2013 (Ercan, 2013), la phase de distribution représentait environ 10 % du total des GES du cycle de vie, soit 5,0 kg eqCO₂ sur un total de 51 kg eqCO₂ dont 78 % provenaient de la distribution du TI et 22 % d'autres transports. Ce qui est intéressant dans cette analyse est que la distance parcourue était de 80 % sur route et 20 % par avion. Même si la majorité de la distance était sur route, c'est le transport aérien qui générerait la quasi-totalité des impacts sur le réchauffement climatique, soit 96 % pour le transport aérien et seulement 4 % pour le transport sur route.

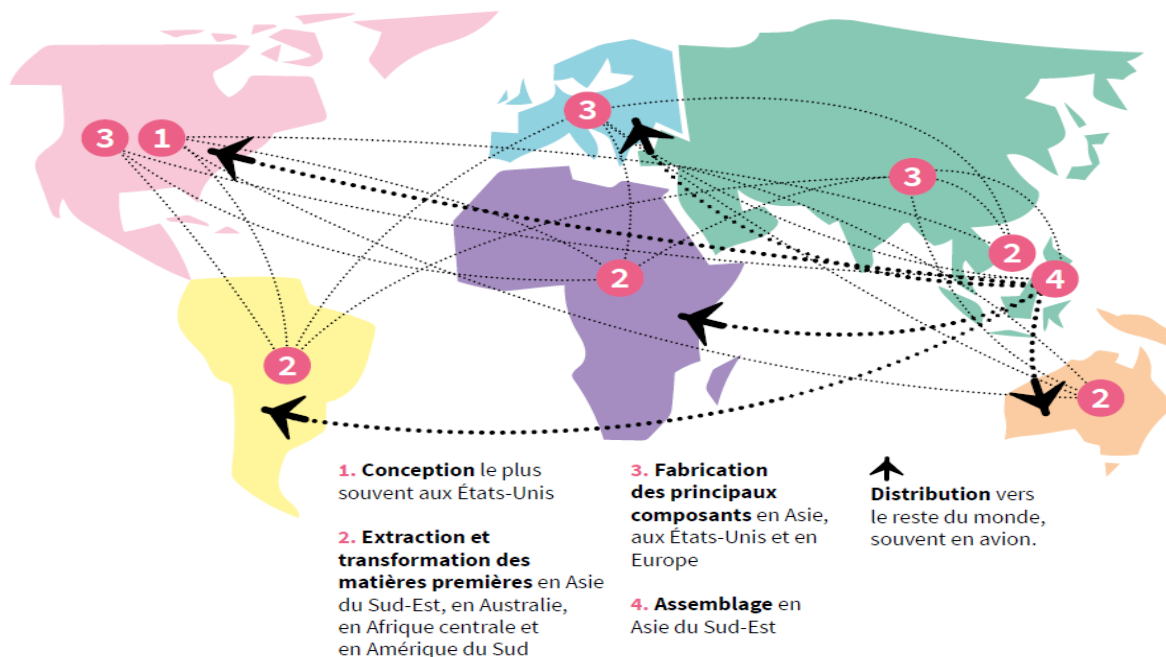


Figure 2.4 - Schématisation du transport et de la distribution de la fabrication d'un TI (tiré de : ADEME, 2017a)

2.3 Phase d'utilisation

Cette phase comprend l'utilisation de l'objet, y compris les secondes vies éventuelles. Dans la majorité des ACV du TI, telles que celles présentées dans la section 2.5 ACV de ce chapitre, seule la consommation d'énergie de l'appareil est prise en compte. Il s'avère toutefois important d'être conscient que l'utilisation du réseau et des données mobiles occasionne également d'autres impacts lors de l'utilisation d'un TI.

2.3.1 Consommation d'énergie

La consommation d'énergie est calculée par rapport à l'énergie requise pour recharger un appareil. Il existe différentes catégories d'utilisateur pour ce qui est de l'énergie, mais également concernant l'utilisation des données. Ils sont catégorisés en utilisateur faible, moyen et grand. Selon les résultats d'un sondage sur les utilisateurs de la firme Deloitte en 2018, les Américains adultes regardaient leurs TI environ 52 fois par jour (Spangler, 2014). En moyenne, un Américain aurait passé 3 heures 35 minutes par jour sur son appareil mobile en 2018 (Wurmser, 2018). Un grand utilisateur rechargera plus longtemps et plus souvent son appareil et consommera ainsi davantage d'électricité. La façon dont l'électricité est produite est un autre facteur qui influence les émissions de GES. Par exemple, des énergies plus vertes en généreront moins que des énergies faites à partir de combustion fossile. (Ercan, 2013)

2.3.2 Réseau et données mobiles

Les résultats de deux études différentes démontrent que lorsque l'utilisation du réseau pour les données cellulaires, les appels et la messagerie sont inclus dans la portée de l'étude, les impacts du TI augmentent grandement (Suckling et Lee, 2015; Ercan, 2013). En effet, les résultats indiquent que selon le type d'utilisateur, lorsque le réseau est inclus dans l'ACV, les impacts du TI en termes de GES augmentent d'environ 30-45 %. Les centres de données, qui constituent, pour simplifier, un regroupement d'une multitude d'ordinateurs, sont nécessaires pour le fonctionnement des technologies modernes dans notre société actuelle. Ils consomment cependant d'importantes quantités d'énergie afin de pouvoir refroidir les ordinateurs, et par ce fait même génèrent des émissions de carbone (Isberto, 2018). Jusqu'à 17 % de l'empreinte de carbone totale causée par les technologies est due au centre de données (Prakash, 2017).

2.4 Phase de fin de vie

La phase de fin de vie d'un produit se fait soit par recyclage ou par élimination du déchet final. Dans un scénario idéal, les TI sont collectés dans une filière spécialisée pour les appareils électroniques. Lorsque les téléphones ne peuvent obtenir une deuxième vie, ils passent par le traitement en vue de la valorisation et de l'élimination (Blandin, 2016). La portée des études des ACV pour le TI ne comprend pas les impacts de l'élimination.

2.4.1 Recyclage et valorisation

Le recyclage consiste à récupérer les composants encore fonctionnels ou les matériaux du TI. Différentes techniques de recyclage peuvent être utilisées afin de récupérer les métaux des cartes électroniques : pyrométallurgie, pyrolyse, hydrométallurgie. Le contexte et les étapes de fin de vie pour les TI mondialement et au Québec seront abordés plus en détail au chapitre 3.

2.4.2 Élimination

Il y a plusieurs étapes avant de se rendre à celle de l'élimination des DEEE. Lorsque le recyclage n'est pas possible ou pour d'autres raisons, les TI sont idéalement récoltés avec les DEEE. L'élimination des DEEE, dont font partie les TI, est effectuée en partie par incinération et majoritairement par l'enfouissement des déchets, dans des dépotoirs et des décharges à ciel ouvert (ADEME et al., 2018; Baldé et al., 2017). Par manque de données, les ACV ne prennent pas en compte les impacts d'élimination des TI. Le contexte des DEEE à l'échelle mondiale sera vu plus en détail au prochain chapitre.

2.5 Analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie d'un produit a pour but de déterminer les impacts environnementaux de chaque phase du cycle de vie d'un produit (Navarro et Zhao, 2014). Pour récapituler, les éléments non inclus dans la plupart des ACV des TI sont les accessoires dans la phase de fabrication, l'utilisation du réseau et l'utilisation des données cellulaires dans la phase d'utilisation et l'enfouissement dans la phase de fin de vie. Les ACV de différentes études, qui ne sont pas présentées ici, sont souvent réalisées à partir de méthodologies différentes et les résultats ne peuvent être comparés. Les résultats sont cependant unanimes : la phase de production est responsable de la grande majorité des impacts. En effet, entre 70-80 % des impacts sont attribuables à celle-ci (FNE, 2017, Otkö Institute 2016; Greenpeace, 2017b; ADEME, 2017a; CODDE, 2008, Ercan, Malmmodin, Bergmark, Kimfalk et Nilsson, 2016; ADEME et al., 2018). Les émissions de gaz à effet de serre (kg CO₂ eq) liées au cycle de vie des modèles d'iPhone de 2010 jusqu'à aujourd'hui sont présentées dans la figure 2.5. Pour avoir une équivalence, voici ce que représente 100 kg de CO₂ eq : l'émission des gaz à effet de serre produits par une voiture de passager moyenne sur une distance de 393 km, l'émission de CO₂ produit par 42,8 litres d'essence consommés ou par 109 livres de charbon brûlé ou la séquestration de carbone de 1,7 arbre pendant 10 ans (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2019). À titre informatif, les modèles de TI qui ont été le plus vendu dans le monde sont les iPhone 6 et 6 Plus, avec 220 millions d'unités vendues (The Telegraph, 2017, 6 août). Les impacts d'un téléphone semblent être faibles, mais lorsqu'on les multiplie par les millions de TI produits, on constate que les impacts sont importants. Les phases du cycle de vie ces ACV comprennent les éléments suivants :

Production : extraction, production, transport des matières premières, ainsi que la production, le transport et l'assemblage des composants et l'emballage du produit.

Transport : transport aérien et marin du produit final et des emballages associés des sites d'assemblage aux centres de distribution. Le transport des produits des centres de distribution jusqu'au client est modélisé par des distances moyenne basées sur la géographie régionale.

Usage : énergie requise pour la recharge des appareils. Apple prévoit par précaution une période de trois ans pour l'utilisation d'énergie des premiers propriétaires. Les scénarios d'utilisation des produits sont basés sur les données historiques d'utilisation des clients pour des produits similaires. Les différences géographiques pour le mélange du réseau électrique à l'échelle régionale sont prises en considération.

Recyclage : transport des centres de collecte aux centres de recyclage, et l'énergie utilisée pour la séparation mécanique et le déchiquetage des pièces.

ACV. L'estimation de l'émission des GES calculée dans ces ACV est basée sur les lignes directrices des normes de l'organisation internationale de normalisation (ISO) 14040 et ISO 14044. Puisque la méthodologie employée pour réaliser ces ACV est la même, leurs résultats sont comparables. Les ACV des iPhones ont été choisies, car elles sont nombreuses, disponibles et ont été faites selon la même méthodologie. Elles ont également été choisies, car les TI les plus répandus, au Canada et par ce fait même au Québec, sont les iPhones (Statcounter GlobalStats, 2019). Les ACV pour tous les modèles iPhone étaient disponibles dans la section environnement sur le site de Apple. Les ACV présentées dans cette section ne montrent que les impacts en termes du nombre total de GES générés.

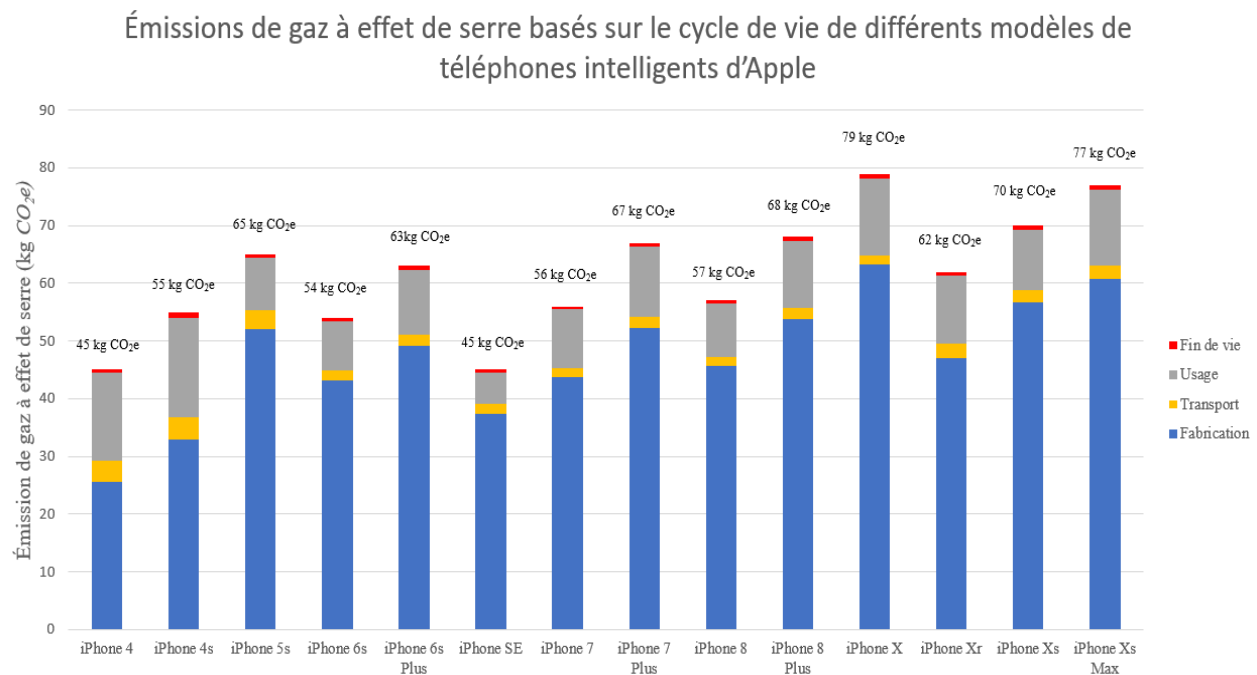


Figure 2.5 - Émissions de gaz à effet de serre (kg éqCO₂) par appareil basés sur le cycle de vie de différents modèles d'iPhone de Apple (inspiré de : Apple 2010; 2012; 2013; 2015a,b; 2017a,b,c,d,e,f; 2018a,b,c)

On peut remarquer que la phase de fabrication s'avère être la principale phase qui contribue aux émissions de GES. On constate aussi que les modèles grand format génèrent plus d'émissions de GES que les modèles format régulier, étant donné qu'ils nécessitent plus de matériaux. Certains ACV sont plus détaillées et quantifient les impacts des TI pour différents paramètres environnementaux. Tel est le cas de l'ACV faite pour deux modèles de TI de Samsung. Les douze paramètres évalués sont : l'acidification, l'eutrophisation, le réchauffement global, l'appauvrissement de la couche d'ozone, la toxicité sur la santé humaine, la toxicité sur le milieu d'eau douce et d'eau marine, la toxicité terrestre, la formation de smog photochimique, la demande primaire en énergie, la consommation d'eau et la génération de déchet. La phase de fabrication génère encore une fois entre 50-90 % des impacts pour 11 de ces paramètres. Pour le douzième, soit la génération de déchet, c'est la phase de fin de vie qui génère la majorité des impacts et la phase d'utilisation (Samsung, 2018).

3. CONTEXTE MONDIAL ET QUÉBÉCOIS DES TÉLÉPHONES INTELLIGENTS

Il est important de comprendre le contexte des TI à l'échelle mondiale et québécoise afin de répondre à l'objectif de l'essai. Ce chapitre traite de plusieurs sujets, qui permettent de comprendre le modèle d'affaires actuel de l'industrie, le phénomène de remplacement fréquent des TI et leur gestion en fin de vie. La première moitié du chapitre vise à mieux comprendre les facteurs influençant le cycle de remplacement et la seconde moitié à comprendre le recyclage des TI au Québec. Le chapitre 3 présente : le marché économique actuel, le cycle de remplacement, les prédictions futures, le phénomène d'obsolescence, le parcours en fin de vie des TI, l'industrie de réparation et la législation dans au Québec et au Canada.

3.1 Modèle d'affaires

Cette section présente l'historique du modèle d'affaires actuellement utilisé dans l'industrie de production de biens de consommation. Plusieurs définitions existent pour le concept de modèle d'affaires. Dans ce document, le terme modèle d'affaires sera utilisé en tant que concept formel de la représentation du fonctionnement d'une entreprise (Massa, Tucci et Afuah, 2017). Un modèle d'affaires consiste en un regroupement de stratégies qui ont comme but principal l'analyse interne d'une entreprise axée sur la création, distribution et capture de valeur (Casadesus-Masanell et Ricart, 2010).

Lors des première et deuxième révolutions industrielles, la quantité, la variété et la vitesse de production ont augmenté significativement. Or, les procédés de production ont été accélérés davantage dans les années 1950 à la suite de l'invention des robots industriels des ordinateurs aidant la conception et la fabrication. Lors de la Seconde Guerre mondiale, le réusage, la réparation et le recyclage étaient pratique courante, puisque les ressources étaient rationnées et que plusieurs étaient seulement disponibles pour l'effort de guerre. Lorsque la guerre s'est terminée, les produits étaient de nouveau jetés en fin de vie. (Andrews, 2015)

L'économie linéaire est caractérisée par le concept « extraire, fabriquer, jeter » pour la consommation des biens (Suckling et Lee, 2015; Ellen Macarthur Foundation [EMF], 2013a). Le modèle linéaire a été consolidé dans les années 1960, lorsque des changements importants dans le marché mondial ont changé l'économie/la valeur des ressources. Il devenait ainsi plus rentable économiquement d'acheter de nouvelles matières que de recycler, par exemple, le métal, le papier, le verre et textile. Par la suite, les produits n'étaient plus conçus pour le désassemblage. (Andrews, 2015)

Il est indéniable que nous traversons une période très grave d'épuisement des ressources naturelles. Une des principales causes de l'épuisement de nos ressources est notre système socioéconomique linéaire (Michelini, Moraes, Cunha, Costa et Ometto, 2017). Selon la fondation d'Ellen Macarthur : « tout système basé sur la consommation plutôt que sur le meilleur rendement possible des matières premières non renouvelables entraîne des pertes importantes sur l'ensemble de la chaîne de valeur » (EMF, 2013a).

Ce modèle économique favorise la demande exponentielle des ressources naturelles et ainsi n'est pas soutenable à long terme. Contrairement à la croyance populaire, l'empreinte écologique croissante n'est pas causée par la surpopulation. Selon les résultats de (Toth et Szigite, 2016), l'empreinte écologique croissante des humains est due aux habitudes de surconsommation, multipliées par le nombre de consommateurs, principalement dans les pays développés.

L'économie, de même que la population mondiale, croissent rapidement. Il est de plus en plus suggéré que la capacité de support de la Terre sera dépassée si le modèle de consommation actuel des pays développés est répliqué par les pays en voie de développement. De plus, certains pensent que la croissance économique actuelle est non économique, c'est-à-dire que lorsqu'on prend en compte tous les coûts globaux, sociaux, environnementaux et économiques, ils sont supérieurs aux bénéfices résultant de la croissance économique stricte. (Kjellberg, 2008) Il est ainsi estimé qu'en 2030, la classe moyenne mondiale doublera pour atteindre près de 5 milliards d'individus. La consommation et les besoins en matières premières augmenteront alors de façon exponentielle, menant à une hausse des prix et de la volatilité au moment où l'accès aux ressources sera plus difficile (EMF, 2013b). Une augmentation de la demande en ressources générera donc également davantage d'impacts environnementaux et pourrait menacer l'approvisionnement des matières premières. En 2010, 65 milliards de tonnes de matières premières ont été injectées dans l'économie, et il est estimé qu'en 2020 ce chiffre augmentera à 82 milliards (EMF, 2013a).

L'industrie des TI s'inscrit dans ce contexte d'économie linéaire. Le modèle d'affaire des compagnies de services de téléphonie mobile incite les utilisateurs à acheter de nouveaux téléphones. Le modèle de croissance de l'industrie des TI est construit sur le modèle économique de croissance de ventes continue de nouveaux appareils. (Green Alliance, 2016) Une stratégie employée dans plusieurs secteurs incluant l'industrie des téléphones portables pour atteindre leurs objectifs de modèle d'affaires est d'augmenter et de faire croître en continu les ventes en réduisant la durée de vie des produits par l'obsolescence programmée/obsolescence. Cette notion sera abordée plus en détail à la sous-section 3.3 de ce chapitre. Plusieurs stratégies de marketing, publicité, offres promotionnelles, prix attirants, dans l'industrie des TI poussent également les consommateurs à changer de téléphone pour obtenir de nouvelles fonctionnalités sur leurs appareils ou être simplement à la mode, même si leurs appareils actuels sont fonctionnels. Le

marketing pousse donc les consommateurs à changer plus rapidement que nécessaire leurs téléphones (Green Alliance, 2015, Greenpeace, 2017a, Kantar Worldpanel, 2017).

Cette section permet de comprendre la problématique de l'épuisement des ressources dans le contexte d'un modèle d'affaires linéaire. Le chapitre 4 exposera un modèle alternatif à ce modèle, l'économie circulaire.

3.2 Marché économique

Cette section présente le marché économique actuel, le cycle de remplacement des TI et les prévisions économiques futures qui influenceront le cycle de remplacement des TI. Ceci permettra de mieux comprendre l'industrie mondiale des TI qui est essentielle puisque le marché économique est directement lié à la production des appareils. Le marché économique influence donc le nombre d'appareils produits annuellement.

3.2.1 Marché actuel

Après sept ans de croissance de vente à deux chiffres, l'industrie du TI semble avoir mûri et la croissance ralentit. Les consommateurs changent moins souvent de marque de téléphones, ce qui constitue un phénomène de loyauté, et la croissance du marché mise davantage sur le remplacement d'appareils existants que sur l'ajout d'un grand nombre de nouveaux acheteurs ; on parle ainsi de saturation du marché (KW, 2017; Green Alliance, 2016).

Au cours des dernières années, la croissance des TI a ralenti et depuis 2017 la croissance est négative (Swearingen, 4 décembre). Selon IDC, 2018 a été globalement la pire année de vente de téléphones avec un déclin de 4,1% comparativement à 2017 ([IDC], 2019a). En 2019, les ventes ont également légèrement diminué pour les trois premiers trimestres (Egham, 2019a; IDC, 2019b; Egham, 2019b).

Trois facteurs contribuent à un ralentissement du marché actuel, soit le ralentissement de l'innovation technologique, la saturation du marché et la croissance du marché d'appareils seconds.

Premièrement, au cours des dernières années, le progrès en innovation des TI a été lent, tant pour les matériaux que pour les logiciels. Ce manque d'innovation technologique a augmenté la durée des cycles de remplacement des TI dans les pays développés et réduit la demande des consommateurs. (Green Alliance, 2016; KW, 2017; Hamblen, 2014). Les consommateurs sont de moins en moins impressionnés par la sortie fréquente et la diversité des nouveaux modèles. Le manque d'innovation et d'amélioration des appareils n'encourage pas les consommateurs à changer d'appareil. De plus, la qualité de connexion des TI au réseau et des caméras sur les appareils est satisfaisante pour la majorité d'entre eux (Conwell, 2018, 23 février;

Swearingen, 4 décembre; Kielty, 2018). Les écrans des TI récents sont brillants et nets, et bien que ceux des modèles les plus récents soient légèrement meilleurs, il est difficile de voir une différence en les comparant côte à côte.

En outre, la durabilité des TI a considérablement augmenté avec les années. L'imperméabilisation est maintenant rendue un standard pour les TI, plusieurs possédant l'indice de protection IP 68 contre l'eau. Laisser tomber brièvement son appareil dans l'eau ne requiert plus de changer systématiquement son téléphone. Plusieurs des modèles plus récents sont maintenant résistants à la poussière (Gilbert, 2018). La durée de vie des batteries, la résistance des écrans et la résistance à la poussière se sont également améliorées (Swearingen, 4 décembre). Une plus grande durabilité des TI permet notamment d'allonger leur durée de vie et ainsi leur durée d'utilisation par les consommateurs.

Deuxièmement, lorsqu'un marché devient saturé comme celui du TI, les ventes d'appareils baissent. On parle de saturation de marché quand le taux de pénétration d'un bien est élevé, c'est-à-dire lorsqu'un grand pourcentage du marché possède ce bien. En 2018, environ 71% des Canadiens possédaient un TI (Newzoo, 2018; Statista, 2019b). Le défi majeur des fabricants devient alors de motiver les consommateurs à changer de TI pour un appareil plus récent, car dans un marché saturé, les ventes dépendent en grande partie de la fréquence de remplacement des consommateurs actuel et non de l'ajout de nouveaux consommateurs.

Troisièmement, le marché de la revente des TI prend de plus en plus d'ampleur. Certaines personnes gardent leur téléphone simplement plus longtemps (Conwell, 2018, 23 février), mais il y a également une tendance des consommateurs à vendre et à acheter des TI sur le marché d'occasion (Green Alliance, 2016). De nouvelles plateformes d'achat-vente entre particuliers ont été développées et sont apparues sur le marché d'occasion. Les réseaux de collecte de téléphone se sont également structurés grâce à l'aide des fabricants, des distributeurs et des opérateurs. Ils ont aussi contribué au développement du marché d'occasion (Blandin, 2016).

3.2.2 Cycle de remplacement

Au cours des dernières années, un changement d'habitude de consommation a été observé. Les consommateurs ont tendance à opter pour l'achat de TI haut de gamme et dotés de plus grands écrans, lorsqu'ils changent d'appareil (KW, 2017; Framingham, 2018; Growth from Knowledge [GfK], 2019). En 2016 aux É-U, les 3 principales raisons pour changer de TI étaient à 51% la taille d'écran, 39% la qualité de la caméra et 39% la fiabilité de l'appareil. Comme cela a été vu au chapitre 2, la fabrication de TI pourvus de plus grands écrans demande une plus grande quantité de matériaux et occasionne donc plus d'impacts

environnementaux. Les 3 principaux facteurs qui ont influencé l'achat sont à 43% une bonne affaire sur le prix du TI, 20% une offre promotionnelle pour l'appareil et 15% une bonne critique du téléphone.

Quand les TI venaient d'apparaître sur le marché, il était plus fréquent pour les consommateurs de changer leurs téléphones à chaque 24 mois, lorsque chaque nouveau modèle apportait une amélioration significative. Cependant, avec le ralentissement du progrès technologique, l'augmentation de la durabilité des produits et les prix élevés des modèles haut de gamme, les consommateurs ont tendance à garder leur TI plus longtemps (Green Alliance, 2015), jusqu'à 36 mois, voire même 48 mois (Haselton, 2019, 12 juin).

Lorsqu'on parle des cycles de remplacement des TI par les utilisateurs/consommateurs, il y a forte variation concernant la durée des cycles selon les sources. Celle-ci varie grandement selon les pays et les années. Elle s'exprime soit en années ou en mois. La durée du cycle de remplacement des TI varie considérablement selon les références et se situe entre 24 mois et 36 mois ; elle varie également selon les pays (Green Alliance, 2016; Fowler, 2019, 2 février; Daniel Research Group, 2019; Statista, 2019e). Selon un sondage réalisé auprès de 3000 Canadiens en 2018, ceux-ci garderaient leur téléphone mobile pour une durée moyenne de 36,2 mois. La durée moyenne d'utilisation pour les 300 Québécois répondants était de 37,4 mois. (Nanos Research, 2018). La figure 3.1 présente la répartition de la durée d'utilisation des appareils auprès des 3000 Canadiens.

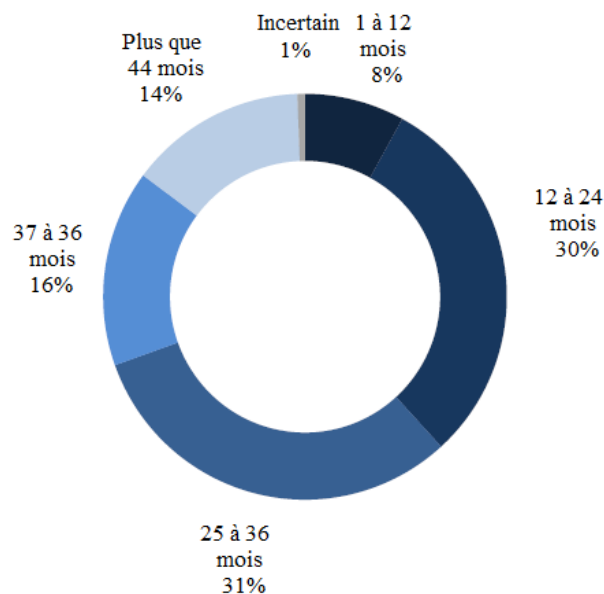


Figure 3.1 - Résultats d'un sondage sur la durée d'utilisation des TI des Canadiens n=3000
(traduction libre de : Nanos Research, 2018)

3.2.3 Réseau mobile

Cette section présente les différences entre les réseaux mobiles et une description du nouveau réseau 5G. Cette information est pertinente, car l'arrivée du nouveau réseau 5G aura possiblement un effet sur le cycle de remplacement des TI.

Au cours des quarante dernières années, le réseau mobile a grandement évolué. Voici une simplification des différents types de réseau qui ont été développés.

- 1G (1981) : Appel vocal mobile analogue
- 2G (1991) : Appel vocal mobile digital et messages textes
- 3G (1998) : Navigation Web sur mobile
- 4G (2008) : Consommation de vidéos mobile et données mobiles plus rapides
- 5G (2018) : Technologie pour servir les consommateurs et la numérisation des industries

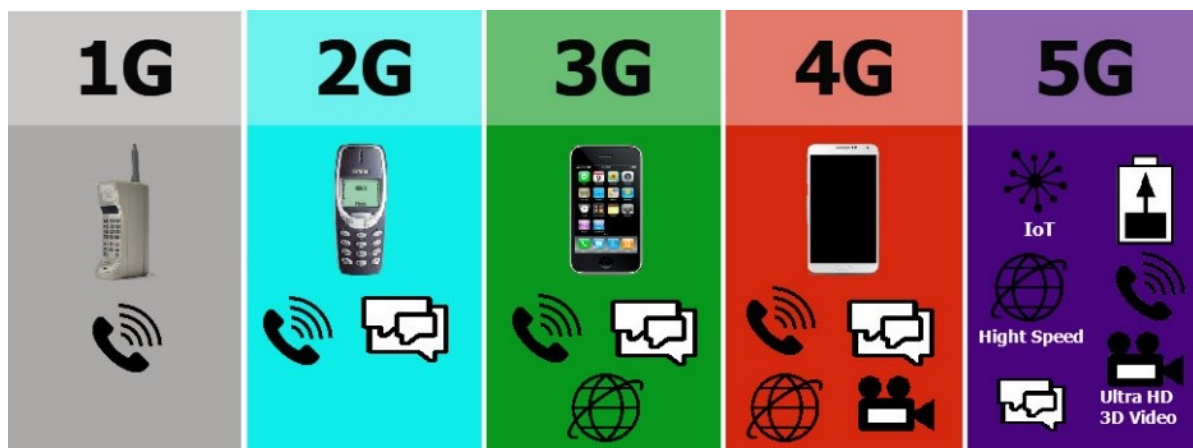


Figure 3.2 - Évolution des téléphones mobiles et des utilités en fonction des types de réseau (tiré de : Pierre, 2018)

La figure 3.2 montre visuellement l'évolution des appareils mobiles et leurs fonctionnalités en fonction de l'évolution des réseaux. Le nouveau réseau 5G n'est pas une évolution du réseau 4G, mais bien un tout nouveau système mobile. Ce nouveau réseau qui a vu le jour au début de l'année 2018 est actuellement mis en place et en pleine expansion. Le 5G consiste en une plateforme connective pour l'Internet des objets (IdO), la réalité augmentée, la réalité virtuelle et plusieurs autres. L'IdO est l'interconnexion entre Internet et des objets, des lieux ou des environnements physiques. Le 5G déclenche une nouvelle vague d'innovations en améliorant les utilisations actuelles des réseaux et en offrant de toutes nouvelles façons de se connecter, de travailler et de jouer ensemble (Ericsson, 2019a). Le 5G permettra de fournir efficacement la capacité technologique pour l'importante croissance d'utilisation de données prévue. Le 4G présent ne

pourrait pas supporter la croissance de trafic de données mobiles attendue d'ici 2024, qui sera augmenté de 5 fois selon les prévisions, particulièrement dans les zones urbaines. Pour ce qui est des attentes techniques, le 5G aura entre autres :

- Une vitesse de téléchargement : 1-20 Gygabyte (Gb) par seconde (Gbps)
- Une latence : 1-10 millisecondes (ms)
- Une capacité de zone de trafic : 0,1-10 Mégabyte (Mb) par seconde par mètre au carré (Mb/s/m²)
- Une efficacité énergétique du réseau : 10-100 fois plus efficace
- Une meilleure sécurité : plus forte authentification de l'abonné, confidentialité des utilisateurs et sécurité du réseau

En termes de comparaison de vitesse, le réseau 5G sera de 20 (LTE-Avancé) à 200 (LTE) fois plus rapide que le réseau 4G actuel. Le nouveau réseau permettra notamment de télécharger en quelques secondes un film haute définition. La véritable valeur du nouveau réseau réside dans l'opportunité qu'il offre aux particuliers, aux entreprises et au monde entier, industries, régions, villes et villages, d'être plus connectés, plus intelligents et plus durables. (Ericsson, 2019a,b; Accenture, 2018)

3.2.4 Prévisions

Les TI, jusqu'en 2018 inclusivement, ne sont pas compatibles avec le nouveau réseau 5G. Les premiers TI compatibles avec le 5G ont été lancés au début du 2^e trimestre de 2019, en concordance avec l'arrivée de la commercialisation du réseau 5G en Asie Pacifique, Amérique du Nord et Europe. Les TI pouvant recevoir les trois spectres de bandes, haute, médium et basse sont attendues durant l'année 2019. Les nouveaux spectres de bandes disponibles pour le réseau 5G des fournisseurs de services permettent une augmentation significative de la capacité du réseau.

Il est possible de penser que l'arrivée du 5G pourrait créer un nouveau cycle d'amélioration des TI, ce qui signifie qu'une importante portion des consommateurs changeraient leur appareil pour des TI compatibles avec le 5G. Suivant le lancement du service sur le marché, la plupart des nouveaux abonnés du 5G changeront leur appareil 4G pour un appareil 5G compatible. Il est possible qu'à la fin de la période, plusieurs jeunes nouveaux utilisateurs, dans un marché mature, aillent directement se procurer un TI compatible avec le 5G comme premier appareil. (Ericsson, 2019c) En effet, le nombre de commandes d'unité de TI prévoit augmenter à 1 574,4 millions d'unités (Statista, 2019c; Framingham, 2018). Une forte portion de l'augmentation pourrait être attribuable au réseau 5G comme on peut l'observer dans la section en bleue de l'année 2022 à la figure 3.3. Plusieurs utilisateurs vont probablement changer d'appareil pour pouvoir utiliser les nouvelles fonctions et améliorations que propose le 5G. Le réseau 5G a donc le potentiel

de stimuler la croissance du marché des TI au cours des prochaines années. La figure 3.3 illustre bien l'évolution du marché des TI mondialement au cours de la dernière décennie. Les bandes vertes représentent le nombre d'unités commandées en millions (axe y de gauche) et la courbe rouge représente la croissance du marché d'année en année (axe y de droite). Lorsque la croissance devient négative, sous 0% de croissance, cela signifie qu'un moins grand nombre d'unités ont été commandées que l'année précédente.

Il est estimé que le réseau 5G couvrira plus de 40% de la population mondiale et qu'il représentera 63% des abonnements en Amérique du Nord à la fin de 2024. Ces prévisions permettent de réaliser que plus de TI seront produits dans les prochaines années. Cette hausse de la production du nombre d'appareils signifie également une augmentation des impacts.

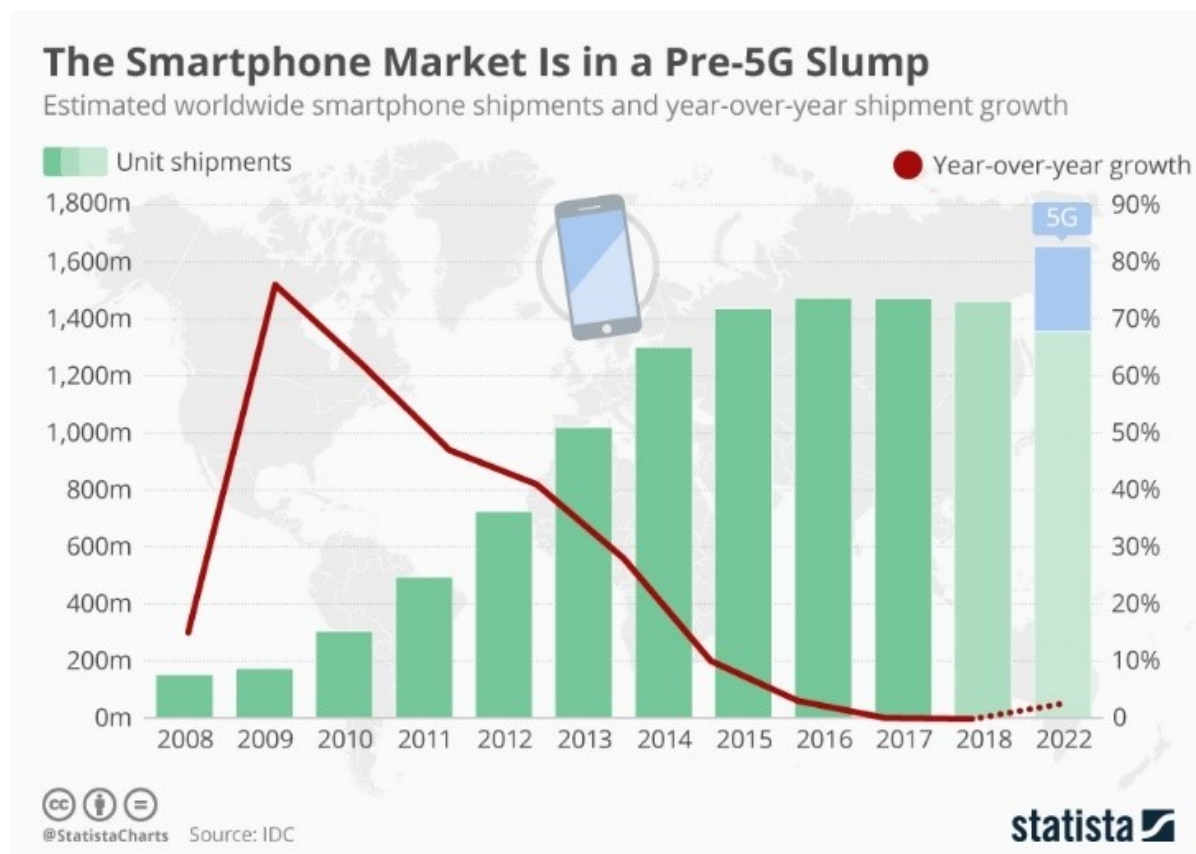


Figure 3.3 - Volume de vente en millions d'unité et croissance d'année en année des TI dans un marché pré-5G (tiré de : Statista, 2019f)

3.3 Obsolescence

Cette section présente le phénomène d'obsolescence, qui réduit la durée de vie et la durée d'utilisation d'un produit par le consommateur. Ces deux durées influent directement sur le cycle de remplacement de produits

comme les TI. En effet, lorsque la durée d'utilisation est réduite, la durée du cycle de remplacement est également réduite, ce qui occasionne une augmentation de la fréquence de remplacement.

La durée de vie attendue d'un TI varie grandement entre les modèles et les années de production. Or, la durée de vie technique d'un TI est considérablement supérieure à la durée de vie réelle de ceux-ci (ADEME, 2016a). En effet, selon les résultats d'une étude, la durée de vie moyenne des téléphones était de 4 ans en 2017 et les consommateurs les conservaient en moyenne pour une période de deux ans seulement. (ADEME, 2017b). Cette large différence peut être attribuable à l'obsolescence des TI.

L'obsolescence se définit comme la dépréciation d'un matériel ou d'un équipement avant son usure matérielle (Équiterre, 2018). Il existe plusieurs facettes à l'obsolescence, étant donné que la typologie change selon les auteurs. Elle peut être séparée en deux catégories, soit en obsolescence absolue ou en obsolescence relative. Dans le cas du TI, l'obsolescence relative est de nature technologique, psychologique et économique.

L'obsolescence absolue a lieu lorsqu'un produit atteint sa fin de vie technique. À ce moment, il est soit détruit ou non réparable. Plusieurs raisons peuvent expliquer pourquoi un TI n'est plus fonctionnel ou réparable : accident, usure, problème technique, perte, vol, irréparable, incompatibilité, manque de soins, etc (ADEME, 2017b; Équiterre, 2018). L'obsolescence relative concerne quant à elle les situations où les consommateurs remplacent un objet alors que celui-ci pourrait encore servir dans son état actuel, en d'autres mots une fin de vie prématurée.

La suite de cette section abordera plus en détail les différents types d'obsolescence relative et l'obsolescence programmée. Le tableau 3.1 permet de classer les différents types d'obsolescence dans le cas du TI. On peut résumer l'obsolescence par les trois types d'obsolescence relative, soit : psychologique, économique et technologique et par l'obsolescence absolue. L'obsolescence programmée peut survenir à tous les niveaux.

Tableau 3.1 - Classification de l'obsolescence pour les TI (compilation d'après : ADEME, 2017b; Déméné et Marchand, 2015; Équiterre, 2018)

Catégories		
Obsolescence programmée	Obsolescence relative (fin de vie prématurée)	Technologique et fonctionnelle
		Psychologique
		Économique
	Obsolescence absolue (fin de vie technique)	

3.3.1 Obsolescence programmée

L'obsolescence programmée se définit comme un ensemble de stratégies mises en œuvre par le fabricant afin qu'il puisse prédire la période au bout de laquelle un bien ne devrait plus être fonctionnel ou désiré par son usager (Bordage, 2019). Cette manière de faire permet de réduire la durée de vie d'un produit et d'accélérer sa fréquence de remplacement. L'obsolescence programmée ne sera pas classée en obsolescence absolue ou relative, puisqu'elle peut se manifester tout aussi bien dans l'un ou dans l'autre (Déméné et Marchand, 2015).

Lorsqu'on prend l'obsolescence programmée au niveau technologique, selon Tollomer 2012, on retrouve l'obsolescence programmée technologique fonctionnelle par défaut, par incompatibilité, de façon indirecte et par notification. Dans le cas du TI, les trois premières sont pertinentes (Tollomer, 2012). L'obsolescence programmée peut prendre d'autres formes que celle de nature technologique : par exemple, il existe l'obsolescence programmée de type esthétique. Ce type sera abordé dans la sous-section obsolescence psychologique.

Le défaut fonctionnel survient lorsqu'un objet atteint sa fin de vie, causée par une pièce qui fait défaut. La pratique la plus évidente est d'introduire un point de rupture technique. Dans le cas des TI, celui-ci peut résider dans la fragilité de l'écran, la faible capacité de stockage par rapport aux besoins liés aux fonctionnalités ou des batteries qui ne sont pas assez durables et ne peuvent être remplacées (Blandin, 2016).

L'incompatibilité a lieu lorsqu'un objet est désuet parce qu'il est incompatible avec la mise en marché d'un nouveau produit ou une version plus récente. Pour les TI, l'incompatibilité est liée à l'arrêt des mises à jour des logiciels de système d'exploitation ou à la suite de la mise à jour d'un logiciel, qui demande plus de

puissance (mémoire vive, processeurs, etc.) (Green Alliance, 2015; Blandin, 2016). Lorsqu'un logiciel n'est plus mis à jour, rendu à un certain point, certaines fonctionnalités ou applications peuvent cesser de fonctionner.

On fait référence à la voie indirecte lorsqu'un objet arrête de fonctionner en raison d'un bris d'accessoire ou de toutes autres pièces détachées, qui sont discontinuées ou rarement disponibles, empêchant ainsi la réparation de l'appareil. On peut prendre comme exemple les anciens types de connecteurs d'iPhone, uniques à Apple, soit les prises connecteur à 30 broches et les connecteurs Lightning, à 8 broches (Dillet, 2012). Les anciens iPhones n'étaient plus compatibles avec les nouveaux chargeurs à 8 broches.

L'obsolescence programmée réduit donc la durée de vie et d'utilisation du TI de différentes manières. Comme mentionné précédemment, l'obsolescence programmée est l'une des stratégies utilisées pour faire stimuler l'économie. Il est pratiquement impossible de démontrer concrètement les stratégies délibérées d'obsolescence programmée. En effet, il n'est pas évident de prouver l'intention réelle des fabricants de volontairement réduire la durée de vie de leurs produits, mais il n'en demeure pas moins que de fortes suspicions demeurent. Dans le cas des TI, l'introduction d'un point de rupture intentionnel semble désormais être l'exception si on compare avec les cas plus fréquents du passé.

Les fabricants justifient parfois leurs décisions par des arguments économiques, afin de réduire le prix pour les consommateurs. Selon l'Union fédérale des consommateurs Que choisir en France et d'autres auteurs, ils jugent préférable de parler d'obsolescence organisée. La responsabilité de l'obsolescence programmée ou organisée est associée aux fabricants (Blandin, 2016). Le climat de compétition et la demande des consommateurs pour des biens à meilleurs prix peuvent conduire les fabricants à choisir des matériaux bon marché, et parfois réduire les étapes d'assemblage, ce qui a un impact sur la qualité des produits. Effectivement, cela a pour effet de réduire la durée de vie des produits (Équiterre, 2018; ADEME, 2017b). Puisque le qualificatif programmé suscite des opinions différentes dans la littérature et écarte la responsabilité partagée entre les fabricants et les consommateurs, il est préférable de se concentrer simplement sur l'obsolescence. La responsabilité des types d'obsolescence suivants est associée aux fabricants et aux consommateurs et varie selon les auteurs (Blandin, 2016; Déméné et Marchand, 2015).

3.3.2 Obsolescence technologique (relative)

Ce type d'obsolescence consiste en une mise au rebut d'un produit électronique en raison de ses performances technologiques, par exemple la lenteur d'utilisation, la faible autonomie d'énergie ou encore la qualité graphique. Le produit est toujours fonctionnel, mais ses moins bonnes performances encouragent l'utilisateur à le changer pour un plus performant. (Bordage, 2019) Lorsqu'un système d'exploitation

nécessite plus de puissance du TI, ceci se traduit par une lenteur et une interface peu réactive, ce qui encourage le consommateur à acquérir un nouvel appareil. Il est possible que certains fabricants mettent à jour délibérément les systèmes d'exploitation juste avant la sortie d'un nouveau modèle, réduisant potentiellement les performances des appareils (Signalbooster, 2018)

Apple a d'ailleurs avoué avoir volontairement ralenti les iPhones ayant des batteries usées par la mise à jour de logiciel, afin de préserver les batteries (Fowler, 2018, 2 février). Samsung a également été condamné pour les mêmes pratiques (Ganti, 2018).

3.3.3 Obsolescence économique (relative)

L'obsolescence économique désigne les situations où le prix de la réparation ou l'entretien d'un produit est élevé par rapport à l'achat d'un produit similaire (ADEME, 2017b). Cette situation peut être attribuable aux conditions du marché, découlant d'une stratégie commune utilisée par les fabricants. Le rapport qualité/prix d'un appareil neuf comparativement à un ancien est aussi un facteur qui influence les consommateurs pour acquérir un nouveau TI (Équiterre, 2018).

La difficulté de réparer certains TI peut être délibérée, étant donné que les TI peuvent être conçues pour être difficilement réparables. Plusieurs facteurs peuvent augmenter la difficulté à réparer un TI : batteries scellées au téléphone, appareil difficilement démontable, composants soudés ou collés entre eux, utilisation de vis non standardisée. En plus des obstacles techniques parfois introduits par les producteurs, la réparation est plus difficile, car il y a une faible disponibilité des pièces détachées (Blandin, 2016). Il faut noter que le choix dans la conception est intentionnel, mais elle ne vise pas nécessairement à raccourcir la durée de vie et d'utilisation des appareils. Elle peut permettre un assemblage plus rapide et donc faire augmenter les marges de profit des fabricants. (Blandin, 2016; Bordage, 2019) Par exemple, la présence de batteries qui sont soudées et qui ne sont pas remplaçables est parfois due au fait que cette configuration permet d'avoir un appareil plus léger et plus mince (Signalbooster, 2018).

3.3.4 Obsolescence psychologique (relative)

L'obsolescence de ce type fait intervenir la psychologie du consommateur pour déterminer lorsqu'il se départ de son TI, qui s'avère encore tout à fait fonctionnel, mais dépassé quant à son apparence, un phénomène causé par la tendance de la mode. D'autres raisons peuvent également entraîner le consommateur à remplacer son appareil : un besoin de changement lié au statut social, un changement de situation familiale, comme la naissance d'un enfant ou professionnelle, par exemple le télétravail (Bordage, 2019). La réflexion et la décision du consommateur relatives au remplacement de son téléphone lui appartient lorsque celui-ci est encore fonctionnel. Selon un sondage de l'Agence de l'Environnement et de

la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), les répondants ne semblaient pas considérer que changer de TI alors qu'il fonctionne encore soit un problème (obsolescence relative) (ADEME, 2017b).

Les consommateurs ont cependant une forte perception de l'obsolescence « programmée ». Ils ont une faible reconnaissance de son rôle dans le phénomène (Équiterre, 2018). C'est ainsi que, à l'aide de publicités agressives et de nouvelles fonctionnalités parfois peu utilisées, les fabricants encouragent les consommateurs à acheter.

3.3.5 Décision de remplacement d'un ancien TI et éléments influençant l'achat d'un nouvel appareil

La décision de remplacer un bien durable par un consommateur est complexe. Elle dépend à la fois de la perception de l'utilité du futur bien acheté et de celle de l'ancien produit (Équiterre, 2018). Les raisons de remplacement d'un ancien appareil en ordre d'importance sont les différents types d'obsolescence : obsolescence technologique, obsolescence économique et obsolescence psychologique. Pour résumer, voici les principales raisons de remplacement : fonctionnalités, baisse de performance, attrait de la nouveauté, amélioration technique, mode, influence des pairs.

Voici plusieurs déclencheurs autres que l'obsolescence qui poussent les consommateurs à se procurer un nouveau téléphone mobile dans un contexte d'obsolescence relative : fin de contrat de téléphonie, promotions, point de fidélité de carte de crédit, don/cadeau, employeur, rabais du nouvel appareil en échange de son ancien. Les programmes d'échange des compagnies de télécommunication ou fabricants peuvent donner des rabais considérables à l'achat d'un nouvel appareil. Ces facteurs favorisent l'achat de nouvel appareil et augmentent la fréquence de remplacement des TI.

Cette section a permis de comprendre la notion et les différents types de l'obsolescence. Des exemples précis ont été donnés et la responsabilité de l'obsolescence est partagée entre les fabricants et les consommateurs dans le cas du TI.

3.4 Comportement des consommateurs avec leur TI en fin de vie

Cette section présente les options possibles pour le consommateur lorsqu'il remplace son TI et les comportements qu'il a le plus tendance à adopter. Un utilisateur peut se départir de son TI pour plusieurs raisons. Les choix qu'il peut faire varient selon la condition de l'appareil, l'obsolescence absolue ou relative. Lorsque l'utilisateur se départ de son téléphone, deux choix majeurs s'offrent à lui : il peut soit s'en débarrasser ou le garder. S'il s'en débarrasse, plusieurs options sont possibles : il peut en faire don à son entourage, à une association ou à une entreprise de collecte. Il a également la possibilité de le jeter aux ordures, de le recycler, ou encore de le vendre à un autre consommateur, une entreprise ou à son entourage.

Il a aussi la possibilité d'avoir recours à des services ou programmes de reprise. La reprise peut être gratuite, payante ou réalisée par l'entreprise, dans le cas des téléphones fournis par son employeur.

Lorsque l'utilisateur garde son téléphone, il peut l'entreposer dans une boîte ou un tiroir dédié. Plusieurs raisons peuvent pousser l'utilisateur à garder son ancien téléphone. Le TI peut être gardé pour être utilisé comme téléphone de secours au cas où quelque chose arriverait au TI principal de l'individu. L'utilisateur peut également le garder en raison d'un attachement à son appareil, que ce soit pour des motifs sentimental, esthétique ou comme témoins de son temps. Dans d'autres cas, lorsque le TI n'est plus fonctionnel, certains le conservent sans aucune raison particulière. (ADEME, 2017b)

Le téléphone portable est facilement entreposable, car il encombre peu. C'est donc une importante proportion des utilisateurs qui les conservent. Le fait de garder son téléphone présente un problème, car cela empêche la remise en circulation ou le recyclage du téléphone.

Le comportement des consommateurs joue un rôle aussi important pour le recyclage des appareils en fin de vie utile des TI que pour la décision de remplacer des appareils. La collecte des TI en fin de vie est nécessaire pour le recyclage. Lorsqu'un individu entrepose son TI, il empêche la collecte et ainsi le recyclage et la remise en circulation des matériaux précieux de son appareil. Selon les résultats d'un sondage réalisé en 2018, le tableau 3.2 présente la pratique des consommateurs canadiens lorsqu'ils se départent de leur téléphone mobile. Il est à noter que selon les résultats de cette source, environ 45% des Canadiens entreposent leurs anciens téléphones cellulaires. D'après ce sondage, le temps moyen d'entreposage des téléphones portables des répondants était de 24,3 mois (Nanos Research, 2018)

Tableau 3.2 - Pratiques de disposition des téléphones portables par les Canadiens (traduction libre de : Nanos Research, 2018)

	Fréquence (n=3000)
Le ranger de côté	44,1%
Donner le dernier téléphone portable que vous possédiez	15,4%
Retourner/échanger le téléphone portable à l'opérateur de téléphonie mobile	10,9%
Recycler	8,7%
Vendre le dernier téléphone portable que vous possédiez	4,8%
Je l'utilise à d'autres fin/comme téléphone portable de secours	4,6%
Retourner dans un magasin/détaillant	4,6%
Donner	1,2%
Jeter à la poubelle	0,9%
Retourner à l'employeur	0,8%
Perdu/briser/voler	1,1%
Autres	0,5%
Incertain	2,4%

Cette section a permis de soulever le rôle des consommateurs dans la collecte des TI pour permettre le recyclage des TI et leurs comportement fréquents de conservation de leurs appareils en fin de vie.

3.5 Entreprise de réparation au Québec

Cette section effectue un survol de l'industrie de la réparation des TI au Québec. Il existe plusieurs entreprises de réparation dans la région de Montréal et ailleurs au Québec. Certaines sont certifiées pour être des réparateurs officiels, par les compagnies de fabricants comme Samsung ou Apple, tandis que les autres entreprises de réparation sont indépendantes. Les entreprises certifiées offrent des pièces de rechange originales et des garanties prolongées sur les réparations. Les prix des réparations sont toutefois plus dispendieux que ceux des réparateurs indépendants et sont établis par les fabricants. Les entreprises offrent plusieurs services de réparations tels que le changement de vitre d'écran, le changement de batterie, la récupération de données, la réparation de bris causés par des dégâts d'eau, la micro-soudure de composant, les connecteurs de charge. Les services les plus communément utilisés sont le remplacement d'écran et de batterie. Les prix peuvent varier grandement selon les modèles de TI.

Chaque téléphone possède une cote de démontabilité qui lui est attribuable. Cette cote peut donner un indice sur la facilité de réparer le modèle. Certains choix lors de la conception des modèles rendent le démontage plus difficile. Ces choix permettent de gagner du temps lors de l'assemblage, mais peuvent également rendre plus difficile la démontabilité d'un appareil. C'est le cas du dernier modèle de Samsung, le S10. Avec un score de démontabilité de 3 sur 10, selon un réparateur de iFixit, il est difficile de le démonter et le réparer (Bordage, 2019). Deux difficultés majeures se présentent en général pour la réparation des TI. La première réside dans le fait que plusieurs composants sont liés entre eux. Lorsqu'une d'entre elles brise, il faut changer le tout. La deuxième est que certains composants sont collés ou soudés ensemble.

Dans cette section, les services les plus couramment utilisés ont été énumérés et les défis de la réparation des TI ont été mis en évidence. (A. Néron, visite Royal Photo, 18 juin 2019; K. Lammari, visite Micro Services, 18 juin 2019; L. Benz, visite uBreakiFix, 18 juin 2019; A. Brahim, visite iTronics, 18 juin 2019; Y. Azzi, visite Univerphone, 18 juin 2019)

3.6 Portrait du contexte québécois de la fin de vie des TI

Cette section abordera le parcours en fin de vie utile des TI dans le milieu québécois et canadien. Cette information permettra de brosser le portrait du recyclage des TI au Québec.

Il importe toutefois d'apporter une petite clarification à propos de deux termes utilisés dans l'essai. Les produits électroniques en fin de vie utile (PEFVU) possèdent encore une valeur autre que matériel ou énergétique : par exemple, ils peuvent être réemployés reconditionnés, réutilisés, etc. Certains auteurs utilisent cependant le terme DEEE comme synonyme de PEFVU.

La figure 3.4 présente les différentes étapes du procédé de gestion des technologies de l'information et des communications (TIC) en fin de vie utile au Québec. Les TIC font référence à plusieurs appareils électroniques, tels que les ordinateurs, les écrans (moniteurs), les périphériques (imprimantes, numériseurs, télécopieurs), télévision, téléphone, etc. (RECYC-QUÉBEC, 2008). Les méthodes de gestion des programmes de recyclage des TIC, par exemple la collecte, la gestion et la redistribution des produits, varient entre les pays. Le parcours emprunté par les appareils est toutefois similaire. Les sections suivantes aborderont spécifiquement certaines de ces étapes dans le contexte québécois, mais également de manière plus générale.

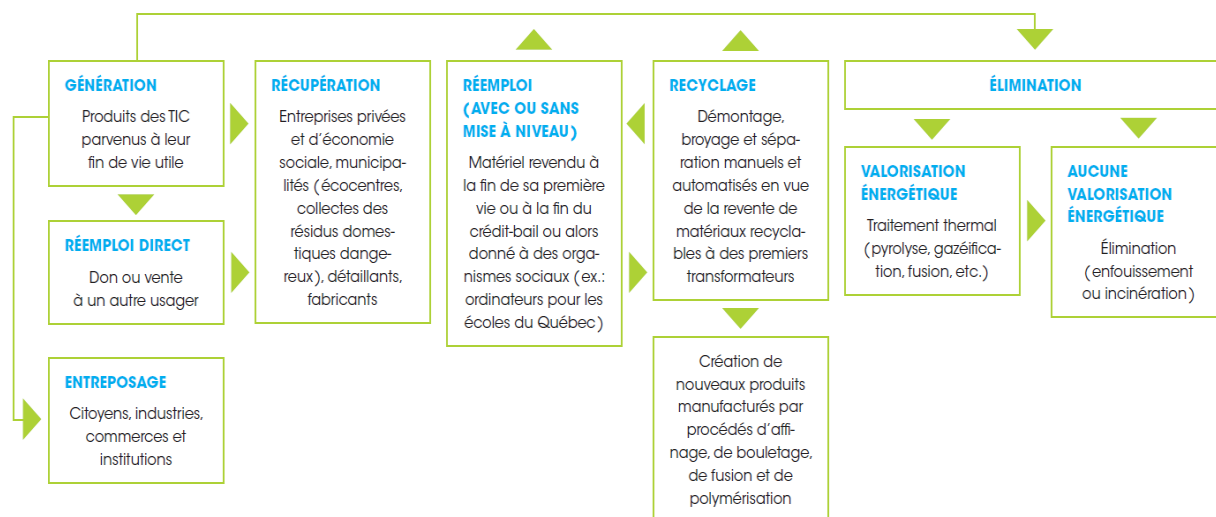


Figure 3.4 - Procédés de gestion des produits des technologies de l'information en fin de vie utile
(tiré de : RECYC-QUÉBEC, 2008)

3.6.1 Programme de collecte et de recyclage des TI et DEEE au Québec/Canada

Cette section présente les programmes de recyclage et de collecte des TI, qui constituent la filière formelle du recyclage des TI. Tout d'abord, certains programmes récoltent spécifiquement les TI, alors que d'autres collectent de façon plus générale les PEFVU. On distingue deux types de filières de recyclage de PEFVU au Québec : les filières formelles qui sont associées à un programme officiel de recyclage et la filière informelle, un réseau parallèle de recycleurs indépendants dans lequel il n'y a aucune traçabilité ni aucun suivi réalisé sur les DEEE. En ce qui concerne la filière formelle, le Canada dispose de plusieurs programmes et organismes de recyclage pour différents PEFVU.

Les organismes du réseau officiel de recyclage des PEFVU pertinents pour les TI au Québec et au Canada sont l'Association pour le recyclage des produits électronique (ARPE), Vidéotron et l'Association Canadienne des télécommunications sans fil (ACTS). Le programme national officiel de recyclage des téléphones portables est le programme Recycle mon cell géré par l'ACTS. Recyc-Québec supervise les points de dépôts et recycleurs agréés de l'ARPE ainsi que le programme individuel de recyclage de Vidéotron (Québecor). (Guillemette, 2019; Kumar et Holuszko, 2016) Les organismes acteurs dans le recyclage des TI seront relatés séparément.

Au Québec, il existe un programme de responsabilité élargie des producteurs (REP), qui oblige les manufacturiers et les détaillants d'appareils électroniques à veiller sur le recyclage des produits en fin de vie. Plusieurs catégories de produits électroniques sont visées par la REP, telles que : ordinateurs, écrans et

périphériques, téléviseurs, imprimantes, téléphones cellulaires, caméras, etc. En 2020, l'objectif pour le taux de récupération des TI est de 25% et il est prévu de l'augmenter de 5% par année jusqu'à 65%. Pour gérer le programme de récupération et de valorisation des produits électroniques (PRRPE), RECYC-QUÉBEC a reconnu l'ARPE-Québec comme gestionnaire officiel. Vidéotron de Québecor et Bell ont choisi pour leur part de mettre sur pied leur propre programme de récupération individuelle de produits électroniques afin de se conformer à la REP. Le programme de Bell ne concerne pas les téléphones cellulaires et vise seulement les modems et récepteurs télé. (Guillemette, 2019; RECYC-QUÉBEC, 2019) La réglementation de la REP sera abordée plus en détail dans la section 3.6 législation.

ARPE : l'ARPE est un organisme à but non lucratif qui coordonne des programmes réglementés de recyclage approuvés par le gouvernement et mis en place par des fabricants, des distributeurs et d'autres parties prenantes afin de recueillir et de recycler de façon responsable les produits électroniques en fin de vie utile (Association pour le recyclage des produits électroniques [ARPE], 2018, 2019a). L'ARPE est présente dans 9 provinces canadiennes, y compris le Québec. L'association collabore uniquement avec des recycleurs qui ont été approuvés en vertu de la norme de recyclage des produits électroniques (NRPE) en vigueur au Canada. Le bureau de la qualification des recycleurs (BQR) audite les recycleurs afin s'assurer de leur conformité aux exigences de la NRPE (ARPE, 2018). Les normes permettent de veiller à ce que les PEFVU soient manipulés de manière écologique et socialement acceptable afin de protéger l'environnement, la santé et sécurité des travailleurs et d'éviter l'exportation illégale des DEEE.

Au Québec, vingt-quatre entreprises sont certifiées en vertu du programme de qualification des recycleurs (PQR) et/ou du programme de réemploi et de remise en état des produits électroniques. Ce ne sont pas toutes les entreprises qui recyclent ou réemploient les TI. Ces programmes sont chacun spécialisés dans différentes catégories de PEFVU (ARPE, 2019b). En 2018, l'ARPE-Québec a notamment récolté 21 387 tonnes de PEFVU à des fins de recyclage (19 460 tonnes) ou de réemploi (1 927 tonnes) (ARPE, 2018). L'ARPE demeure un organisme privé et est exclu des obligations de transparence comme cela est prévu par la Loi sur l'accès à l'information. Les ententes prises avec les points de dépôts, les collecteurs et les recycleurs sont confidentielles. Une entente d'agrément entre RECYC-QUÉBEC et ARPE-Québec stipule que Recyc-Québec s'engage à ne divulguer aucun document d'information de nature confidentielle (Réseau Environnement, 2014). Les plus récents taux de récupération des déchets électroniques publiés par Recyc-Québec datent de 2015 et les taux de récupération pour les cellulaires, tablettes et ordinateurs portables ne sont pas publics (RECYC-QUÉBEC, 2015).

L'ARPE-Québec est financée par l'application d'écotaxes sur tous les produits électroniques neufs. Les frais sont établis en fonction des coûts réels du recyclage des matériaux contenus dans le produit. Tous les revenus

du programme servent à la collecte, au transport et au recyclage des PEFVU ainsi qu'à l'administration du programme. Les écofrais pour les appareils cellulaires et téléavertisseurs sont de 0,07\$ et tous les écofrais sont taxables (ARPE, 2019c). L'ARPE présente 2300 points de dépôt de PEFVU au Canada, dont près de 1000 au Québec. Le site <https://www.recyclermeselectroniques.ca/qc/ou-recycler/> indique les points de collectes.

Québécor (Vidéotron) : le programme individuel de recyclage de Vidéotron se nomme ON RECYCLE. Le programme récolte plusieurs produits, tels que les tablettes, les récepteurs numériques, les accessoires et les téléphones mobiles et résidentiels. Les points de dépôts sont les points de vente de Vidéotron ou les Superclub Vidéotron. (Vidéotron, 2019)

ACTS : le programme national de recyclage d'appareils sans fil et de leurs accessoires est Recycle mon cell. Le programme regroupe divers programmes de recyclage de cellulaires. Les programmes participants sont des programmes d'échange et/ou recyclage de compagnies de télécommunications tels que Bell, BellMTS, Fido, Eastlink, Freedom mobile, Lynx, Rogers, Sasktel, Tbaytel, Videotron, Virgin mobile. Les entreprises suivantes sont également partenaires du programme : BlackBerry, LG, Sony, Geep, Samsung, Greetec. L'initiative nationale provient de l'ACTS en collaboration avec ses membres, fabricants de matériel et fournisseurs de services sans fil. Les appareils collectés sont les cellulaires, les TI, les téléavertisseurs et des accessoires comme des piles de cellulaires ou chargeurs, peu importe leur manque ou leur état. Plusieurs programmes d'échange sont disponibles par les fabricants, opérateurs de télécommunications pour favoriser la collecte et par la même occasion le recyclage et la réutilisation. Le programme offre 2 665 points de collecte à travers le Canada. Le site <https://www.recyclemycell.ca/fr/points-de-collecte/> peut être consulté pour trouver le point de collecte le plus près de chez vous. Il est également possible d'envoyer un appareil sans frais par la poste. Voici une liste non exhaustive des entreprises agissant comme point de dépôt du programme Recycle mon cell au Québec : Action-Page Inc., Bell, Espace Bell, Fido, Superclub Vidéotron, Mobifone, Planète Mobile, Rogers, la Source, Vidéotron, Virgin Mobile, etc. (Association canadienne des télécommunications sans fil [ACTS], 2019)

Tous les recycleurs participant au programme Recycle mon cell sont certifiés selon plusieurs normes telles que celle du système de gestion environnementale ISO 14001 et la norme de recyclage responsable (R2) pour les recycleurs de produits électroniques et/ou dans le cadre du Programme de qualification des fournisseurs de services de recyclage (PQFSR) de l'ARPE (ACTS, 2019b).

La compagnie de recyclage d'électronique GreenTec est le seul tiers parti dans le processus de recyclage du programme. GreenTec est vérifié et audité par l'ARPE et doit rendre des comptes afin de s'assurer du respect des normes de recyclage d'électronique canadiennes et de connaître les effets de leurs activités sur l'environnement.

Le 26 juin 2019, le programme a célébré son 10^e anniversaire. En 2018, 431 943 appareils ont été retournés par l'entremise du programme (304 027 récupérés et 127 916 recyclés). Depuis la dernière décennie, ce sont plus de 6 985 325 appareils qui ont été recyclés et réutilisés. (ACTS, 2019c)

Réseau informel du recyclage des PEFVU : plusieurs raisons expliquent pourquoi certains recycleurs du réseau parallèle ne se soumettent pas à la certification de l'ARPE. Pour certains, le coût pour répondre à tous les critères de certification peut s'avérer important et s'élever à des montants pouvant atteindre 60 000\$ ou plus. Cette certification ne leur garantit pas non plus d'avoir du travail. Pour d'autres recycleurs, ils n'ont simplement pas envie de se faire gérer par une grande organisation. Le réseau parallèle réduit les rendements du programme officiel de recyclage de l'ARPE, qui devait atteindre certaines cibles en 2015. Le gouvernement du Québec a reporté l'échéancier en 2020. Aucun suivi n'est effectué sur les DEEE recyclés du réseau informel. Ses entreprises de recyclage peuvent cependant augmenter le taux de recyclage des DEEE, qui pourraient autrement être envoyés facilement dans des dépotoirs. (Guillemette, 2019) Les magasins de réparation et des entreprises sur internet collectent également les TI usagés.

En résumé, les TI peuvent être récoltés ou recyclés dans le réseau informel de recyclage ou dans le réseau formel par les points de collecte de l'ARPE, le programme officiel de recyclage Recycle mon cell de l'ACTS ou le programme individuel de Québecor.

3.6.2 Entreprise de réemploi et de recyclage certifiée

Une fois que les téléphones mobiles et leurs accessoires sont collectés dans un point de dépôt officiel, ils sont triés dans les installations de transformation accréditées. Les appareils qui peuvent être réemployés et qui répondent à des critères de fonctionnalité précis sont revendus à de nouveaux utilisateurs, parfois à la suite d'un reconditionnement. Les appareils sont démontés pour réutiliser leurs composants ou les matériaux sont simplement recyclés (H. Roos, appel téléphonique, 1^{er} octobre 2019; ACTS, 2018).

L'ARPE-Québec gère les PEFVU selon des normes environnementales rigoureuses à chaque étape du processus de recyclage. Les établissements de recyclage certifiés doivent effectuer de la gestion écologiquement rationnelle pratiquement à toutes les étapes du recyclage. Cette gestion permet de protéger la santé humaine et l'environnement ainsi qu'éviter l'exportation illégale. (SERI, 2013; ACTS, 2019b)

Parmi les recycleurs certifiés au Québec, on retrouve des entreprises dédiées spécifiquement au recyclage, mais aussi des entreprises de réemploi et de remise en état des produits électroniques. Les entreprises de réutilisation remettent à niveau des appareils comme des TI ou réparent ceux qui peuvent l'être. Le reste des appareils est ensuite envoyé aux entreprises spécialisées en recyclage.

Pour prendre le cas plus spécifique des TI, une fois que les appareils sont récoltés à des points de collecte de l'ARPE ou du programme Recycle mon cell, ils sont expédiés chez les recycleurs certifiés. La figure 3.5 montre le diagramme des étapes de traitement typique dans les centres de recyclage. La première étape est l'évaluation des appareils. Les appareils qui répondent à certains critères sont mis de côté pour être ensuite réparés ou remis à neuf. Ils sont donc testés pour leur réutilisabilité. L'âge, l'état et le modèle de l'appareil sont pris en considération. Parfois, un simple changement de batterie peut être suffisant, ou encore le remplacement d'une vitre ou autre réparation simple. Les téléphones mobiles remis à neuf en entier ou les composants peuvent ensuite être remis sur le marché usagé. Si les appareils ne peuvent être réparés ou ne répondent pas aux critères de remise à niveau, ils sont envoyés dans des établissements spécialisés en recyclage pour être démantelés. Les matériaux ou résidus toxiques, tels que le cuivre ou le plomb, sont traités de façon responsable à part. Les matériaux recyclés tels que le plastique, le verre, les métaux précieux (ex. cuivre, or) sont vendus à des fabricants pour être réutilisés dans la fabrication de nouveaux appareils (Kumar et Holuszko, 2016; ARPE, 2016a).

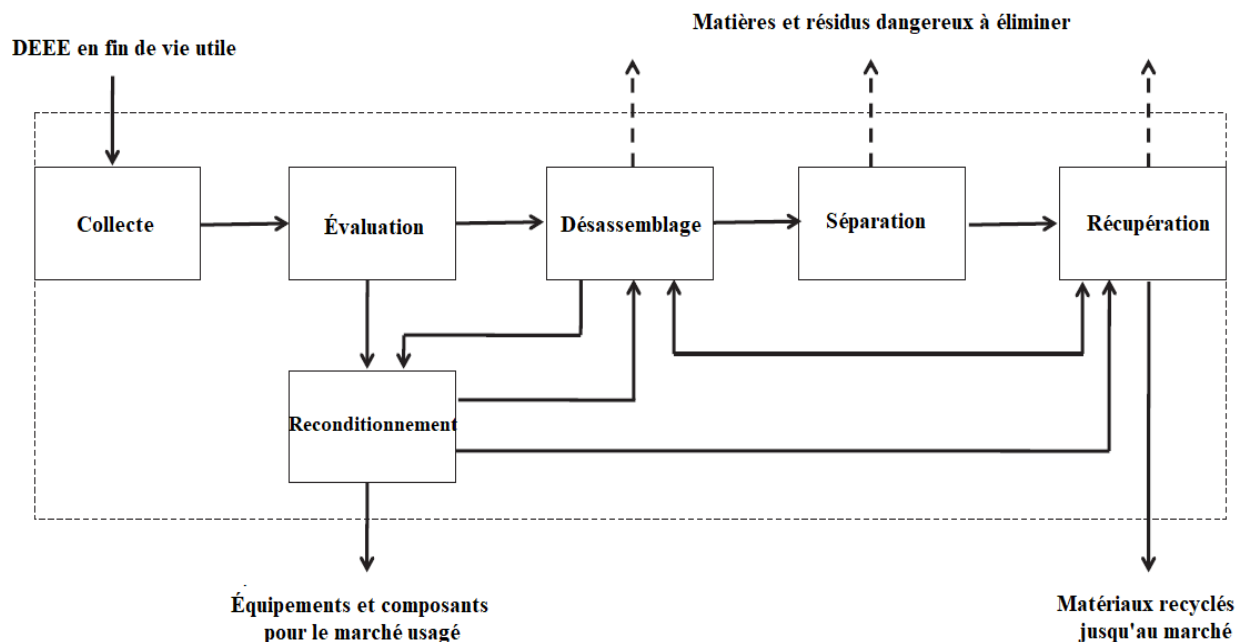


Figure 3.5 - Cheminement des EEE en fin de vie utile, selon une gestion écologiquement rationnelle, dans un établissement de recyclage (tiré et traduction libre de : Perkins, Drisse, Nxele et Sly, 2014)

D'autres d'équipements peuvent être acheminés à différentes usines spécifiques au Canada pour le déchiquetage de DEEE (Guillemette, 2019). Il est cependant difficile d'identifier exactement où vont les TI reconditionnés sur le marché secondaire et les matériaux recyclés.

Il est recommandé d'effacer toute donnée personnelle sur son téléphone et sa carte SIM avant de déposer son TI dans un point de dépôt. Certaines entreprises certifiées de recyclage comme Électrobac s'engagent à effacer toutes les données personnelles sur tous les téléphones cellulaires récoltés avant de traiter les appareils. Cette entreprise de reconditionnement et réemploi récolte et remet à niveau de petits appareils électroniques, comme les TI. Électrobac, points de dépôt officiel de l'ARPE, récolte les appareils d'individus dans plusieurs points de dépôt, qui sont des bacs d'électroniques, mais travaille également avec des entreprises pour la collecte d'appareil, par exemple des téléphones cellulaires que les compagnies fournissent à leurs employés.

3.7 Déchets d'équipements électriques et électroniques

Cette section brosse un bref portrait mondial et canadien des DEEE et leurs impacts. Tous les produits EEE fabriqués finiront un jour comme déchets. Les DEEE sont séparés en six catégories, les TI faisant partie des petits appareils de technologie de l'information (ADEME et al., 2018). En 2016, cette catégorie représentait 3,9 millions de tonnes métriques, soit 8,7% des 44,7 mT DEEE générés mondialement (Baldé et al., 2017). Plus spécifiquement, les TI représentaient 435 000 tonnes de cette catégorie (PACE, 2019). En 2014, le Canada avait généré 725 (kT) de DEEE (Kumar et Holuszko, 2016).

Les DEEE représentent une importante valeur économique et source de matière première, entre autres pour des matériaux comme l'or, l'argent, le cuivre, le palladium, etc. (PACE, 2019). En effet, il a été estimé que la valeur potentielle des matières premières dans les DEEE mondiales de 2016 était de 55 milliards d'euros (Baldé et al., 2017). Dans le cas des TI, les matières premières des 435 000 tonnes d'appareils discartés représentaient jusqu'à 9,6 millions d'euros. Les cartes électroniques des appareils électroniques contiennent la plus forte concentration de métaux précieux dans les DEEE. Si on prend l'exemple de l'or, la concentration de celle-ci dans une tonne de cartes électroniques est environ de 200 grammes, alors qu'une très bonne mine est évaluée à 5 grammes par tonne de minerai (Blandin, 2016). Jusqu'à 7% de l'or mondial extrait pourrait être contenu dans les DEEE (PACE, 2019).

La pratique d'exportation des DEEE vers les pays en développement par les pays développés constituait auparavant une pratique courante pour plusieurs raisons, notamment le coût de main-d'œuvre élevé et la réglementation d'élimination de déchet stricte à l'interne des pays développés. Ceci favorise encore de nos jours l'exportation des DEEE vers les pays en développement où la régulation des matières dangereuse est

moins stricte. Ces exportations sont réglementées depuis plusieurs années, mais il existe encore des cas d'exportation illégale dans plusieurs pays, au Canada et au Québec également (Baldé et al., 2017). Entre juin 2017 et mars 2018 au port de Montréal, des cas d'exportations illégales de DEEE ont encore été trouvés (Guillemette, 2019).

Ceci peut être bénéfique économiquement pour ces pays en développement à court terme, mais plusieurs d'entre eux ne possèdent pas la technologie, les installations et les ressources nécessaires pour recycler et disposer les DEEE correctement. La problématique de l'exportation réside dans le fait que les techniques d'extraction des matières valables sont rudimentaires et ne sont pas sécuritaires pour les recycleurs et l'environnement. Une des pratiques courantes est de faire fondre des câbles électriques dans un dépotoir à ciel ouvert afin de récupérer le cuivre. Une autre pratique est la récupération de l'or des composants, des circuits imprimés et cartes électroniques en mettant les métaux dans des bains d'acide, et ce, encore une fois dans des mines à ciel ouvert. En plus des dangers causés par ces méthodes de récupération, les matériaux récupérés valent seulement une fraction du potentiel de retour économique. (Perkins et al., 2014)

Outre la valeur économique et l'importante quantité de matière première gaspillée lorsque les DEEE sont jetés ou mal récupérés, les DEEE occasionnent également plusieurs impacts environnementaux et sur la santé humaine, mais ne seront pas abordés davantage dans cet essai.

Au Canada, les DEEE sont soit recyclés ou envoyés dans des sites d'enfouissement. Les provinces de la Nouvelle-Écosse, de Terre-Neuve et de l'Île-du-Prince-Édouard sont les seules provinces au Canada où l'enfouissement des DEEE est banni au Canada. La municipalité de Vancouver a également banni l'enfouissement. (Kumar et Holuszko, 2016) Puisque les TI sont petits, certains utilisateurs les jettent dans les déchets domestiques et ils sont donc directement enfouis.

Cette section a permis de réaliser que l'exportation des DEEE réduit les quantités de matériaux recyclés en plus de générer d'autres impacts et qu'il est primordial de ne pas enfouir les DEEE afin de pouvoir les recycler.

3.8 Traitement DEEE

Cette section effectue un bref survol des traitements des DEEE. La section permettra de réaliser que le choix des techniques de recyclage ainsi que le démantèlement des appareils électroniques jouent un rôle important afin de maximiser la collecte de matériaux. Dans le cas des TI, puisqu'ils sont composés d'un grand nombre de métaux, il est difficile d'avoir un bon taux de récupération pour chacun. Voici quelques procédés généraux pour le traitement DEEE, qui ne sont pas relatés de manière détaillée. Les étapes génériques dans

la chaîne de fin de vie des EEE sont la collecte, le prétraitement, le traitement de fin de processus et la disposition des résidus.

Lorsque les EEE en fin de vie utiles sont récoltés, ils sont prétraités. L'étape de prétraitement englobe toutes les étapes pour séparer et trier les divers matériaux et composants des EEE afin qu'ils soient ensuite transférés aux unités de traitement de fin de processus, telles que les fonderies et les raffineries. La plupart des opérateurs de prétraitement commencent par une étape de tri et de dépollution. En ce qui concerne les TI et les tablettes, la dépollution implique le retrait des batteries et des câbles externes (chargeurs). Plusieurs entreprises utilisent la première étape de dépollution pour séparer les appareils réparables et réutilisables. En ce qui concerne les équipements électroniques, plusieurs traitements mécaniques de séparation lors du prétraitement comportent le désavantage de faire perdre des métaux précieux comme l'or, l'argent et le palladium (Chancerel, 2010). Ceci peut être expliqué par le fait que les méthodes mécaniques ne peuvent pas libérer parfaitement les métaux des matériaux complexes. Ainsi, les métaux précieux peuvent encore être attachés à l'acier, à l'aluminium ou autres morceaux de plastique. (Otkö Institute, 2016)

En ce qui concerne les TI et les tablettes, les installations de traitement final existent pour les éléments suivants : cuivre et métaux précieux, batteries rechargeables (Li-Ion, NiMH), ferraille d'aluminium et ferraille d'acier. À la suite de prétraitements mécaniques, seules les installations de fin de traitement pour la ferraille d'aluminium et d'acier sont pertinentes. Certains éléments comme le magnésium, le tungstène, les TR, le tantale et le gallium ne sont pas récupérés dans les appareils en fin de vie. Même s'il est possible de recycler certains de ces métaux industriellement, ces procédés requièrent des entrées de matériaux relativement pures. Recycler ses métaux requerrait une séparation plus efficace des composants touchés. Puisque les TI et tablettes ne possèdent qu'une faible quantité de ces matériaux, d'un point de vue économique, les efforts nécessaires pour leur recyclage de ses matériaux ne sont pas justifiés (Otkö Institute, 2016).

Pour les TI et tablettes, il existe trois options majeures de recyclage. L'option 1 est de ne pas retirer la batterie de l'appareil et d'envoyer l'appareil dans une fonderie secondaire de cuivre. L'option 2 est de retirer la batterie et d'envoyer l'appareil dans une fonderie secondaire de cuivre et la batterie dans une fonderie de batterie. L'option 3 est de déchiqueter l'appareil en entier, séparer mécaniquement les morceaux et ensuite les envoyer dans des fonderies de cuivre, de fer et d'aluminium. Le tableau A.2 de l'annexe 3 montre les trois principales options de recyclage pour le TI et tablettes. Le tableau indique si plusieurs éléments sont recyclés, recyclés partiellement ou non pour les trois options majeures de recyclage. Il n'y a pas de voie de recyclage parfaite ; néanmoins, l'option 2 est considérée comme la meilleure option de recyclage puisqu'elle possède un fort taux de recyclage pour le cuivre, les métaux précieux et le cobalt.

Les cartes électroniques, qui se trouvent être des composants de plusieurs appareils électroniques, sont séparées et traitées à part (ADEME et al., 2018). Elles représentent un gisement économique intéressant en raison des matériaux qu'elles contiennent. Plusieurs technologies de traitement existent actuellement. Une fois extraites des DEEE, la majorité des cartes électroniques sont de nos jours traitées par pyrométallurgie (procédé métallurgique thermique) pour séparer et récupérer les métaux. Une dizaine de fonderies dans le monde peuvent traiter les cartes électroniques. D'autres procédés sont en cours de développement tels que la pyrolyse, le traitement thermique avec traitements chimique et électrochimique ainsi que la séparation physique (ADEME et al., 2018).

L'un des problèmes mentionnés précédemment pour le recyclage des TI est la faible quantité de certains métaux, qui rend trop difficile ou économiquement non viable leur recyclage. Les métaux sont en pratique infiniment recyclables, mais le recyclage est souvent inefficace ou inexistant en raison de limites imposées par le comportement social, la conception du produit, les technologies de recyclage et la thermodynamique de la séparation (Reck et Graedel, 2012). La figure A.2 de l'annexe 4 montre un schéma des pertes ou de la récupération des métaux selon les types de traitements métallurgiques, dans lequel on peut constater qu'il n'est pas encore possible d'avoir un bon taux de recyclage pour chaque élément. La rentabilité des techniques de recyclage doit être prise en compte lors du choix de la technique de traitement et recyclage des TI. Plusieurs traitements de recyclage sont possibles pour le TI.

Dans une étude comparant la recyclabilité du téléphone Fairphone de trois façons différentes, la méthode permettant de récupérer le plus de matériaux par poids, soit 19% de recyclage des métaux, 28% du total des matériaux recyclable et 31% recyclé/récupéré, est le désassemblage du téléphone et raffinage du métal/plastique et traitement pour la récupération d'énergie (Reuter, Schaik et Ballester, 2018)

Cette section a permis de comprendre les procédés généraux du traitement et recyclage des DEEE. Dans la sous-section de recyclabilité du chapitre 4, des solutions seront proposées pour améliorer le recyclage des TI.

3.9 Législation

Dans cette section, un bref survol de certains aspects de la législation sera effectué pour les appareils électroniques au Québec et Canada. Trois aspects seront abordés ici : le premier aspect concernera la législation sur l'obsolescence, le deuxième aspect abordera la REP et le troisième l'exportation des DEEE. Seuls ces aspects seront abordés, car le premier concerne la durée de vie, le deuxième concerne la récupération de matières et le troisième est en lien indirect avec le recyclage des DEEE. Les politiques et règlements décrits dans cette section ne sont pas présentés de manière exhaustive.

3.9.1 Obsolescence

L'un des outils pour protéger les consommateurs pour les biens achetés au Québec est la garantie légale. Celle-ci constitue une garantie de base obligatoire qui provient de la Loi sur la protection du consommateur et s'applique à tous les biens achetés ou vendus chez un commerçant. Elle s'applique donc à tous les biens et ainsi aux TI. La garantie légale offre plusieurs garanties. Cette garantie peut alors protéger le consommateur sur plusieurs aspects, y compris l'obsolescence des biens. Les commerçants et fabricant sont obligés de respecter cette garantie légale. De plus, la garantie légale demeure applicable après tout changement de propriétaire d'un bien. Elle comprend entre autres les garanties suivantes :

- Garantie pour la **qualité** du bien : le bien acheté ou loué doit pouvoir servir à l'usage « normal » auquel il est destiné.
- Garantie pour la **durabilité** du bien : la durée de vie du bon fonctionnement d'un bien doit être raisonnable.
- Garantie pour la **conformité** du bien : le bien acheté doit être conforme à la description du bien dans le contrat; à la publicité du commerçant et aux déclarations ou représentations faites par le commerçant
- Garantie pour la **sécurité** du bien : le bien acheté doit être sécuritaire
- Garantie pour les **défauts** cachés : garantie contre les défauts importants, graves ou cachés.

La garantie pour la durabilité est celle qui peut concerner le cycle de renouvellement des TI, car elle touche directement leurs durées de vie. La garantie pour la durabilité s'assure que les biens vendus ou loués servent durant une durée raisonnable compte tenu du prix payé, du contrat et des conditions d'utilisations. Il n'y a pas de durée préétablie fixée par les lois pour les biens ; elle est plutôt sujette à l'interprétation des tribunaux (Tison, 2010, 3 août). Un produit haut de gamme acheté à prix plus élevé sera protégé plus longtemps par la garantie légale qu'un produit de qualité inférieure acheté à un prix moindre. Dans un cas spécifique pour les TI, un juge peut se baser sur la jurisprudence des cas similaires. Selon l'avocat et analyste en télécommunications Anthony Hémond à l'Union des consommateurs, dans un cas où un cellulaire brise après une période de 15 ou 18 mois de service, un consommateur pourrait faire valoir devant la Cour des petites créances que lorsqu'on reçoit un cellulaire avec un contrat de trois ans, il devrait logiquement durer au moins la période du contrat (Tison, 2010, 3 août). (Gouvernement du Québec, 2019a,b; Office de la protection du consommateur Québec [OPCQ], 2019)

En général, lors de l'achat d'un nouveau TI en boutique ou avec un fournisseur de service, l'appareil est protégé par une garantie d'un an du fabricant. Cette garantie du fabricant ne couvre cependant que les

téléphones qui comportent des défauts de matériaux et de fabrication s'ils ont été utilisés normalement. Les bris accidentels et les dommages causés par une mauvaise utilisation ne sont pas couverts. (Éducaloi, 2019; Apple, 2019a; Benessaïeh, 2016, 22 juin)

L'obsolescence est un élément très important dans la durée de vie d'un TI. En 2019, certaines mesures ont été réalisées en lien avec l'obsolescence programmée. Le 9 avril dernier, un projet de loi préparé par 51 étudiants en droit de l'Université de Sherbrooke a officiellement été présenté devant l'Assemblée nationale par le député indépendant Guy Ouellette. Il s'agit du projet de loi n°197 : Loi modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens. Le projet propose entre autres : d'instaurer une cote de durabilité pour les biens, que les pièces pour permettre la réparation soit disponibles aussi longtemps que le bien est en vente à un prix intéressant, d'émettre une amende minimale de 10 000\$ pour toute personne pratiquant l'obsolescence programmée (Porter, 2019 9 avril; Assemblée Nationale du Québec [ANQ], 2019a). Le projet de loi a été adopté avec modification par la majorité des voix de l'Assemblée nationale.

En outre, une pétition pour la lutte contre l'obsolescence programmée en lien avec ce projet de loi a été signée par 45 028 personnes préalablement à la présentation du projet de loi n°197, le 1er avril 2019. Cette pétition demandait au gouvernement du Québec de mettre de l'avant des mesures d'ordre public pour combattre l'obsolescence programmée par l'entremise de la Loi sur la protection du consommateur et/ou toute autre législation nécessaire (ANQ, 2019b).

3.9.2 Responsabilité élargie des producteurs

Pour ce qui est plus spécifiquement du recyclage, les TI, comme plusieurs autres PEFVU, sont soumis à la REP, telle que vue précédemment. La REP est un principe qui vise à transférer la responsabilité de la gestion des matières résiduelles engendrées par la consommation aux entreprises qui les produisent. Ce principe provient de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE). Deux grands principes sous-tendent la REP, soit : le respect de la hiérarchie des 3RV-E (réduction à la source, réemploi, recyclage, valorisation matière ou énergétique et élimination) et la création de mesures incitatives en faveur de l'écoconception des produits. Il y a trois objectifs primaires du principe de REP :

- Les fabricants doivent être incités à améliorer la conception environnementale de leurs produits et la performance environnementale de la fourniture de ces produits.
- Les produits devraient atteindre un taux élevé d'utilisation.
- Les matériaux doivent être préservés grâce à une collecte, un traitement, une réutilisation et un recyclage efficaces et écologiquement rationnel. (Baldé et al., 2017)

Le règlement basé sur le principe de REP est le Règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises (c. Q-2, r. 40.1) qui est entré en vigueur le 14 juillet 2011.

Afin de répondre à la REP, Recyclage des produits électroniques Canada (RPEC) et le Conseil canadien du commerce de détail (CCCC) ont constitué l'ARPE et mis en place le programme québécois d'intendance des produits électriques et électroniques en fin de vie utile afin de s'assurer de la gestion en fin de vie des produits électroniques. L'ARPE assure le fonctionnement du programme d'intendance, qui a été présenté et approuvé en 2011 par Recyc-Québec (RPEC et CCCC, 2011). C'est ce programme qui gère les écofrais des produits. L'ARPE s'appuie sur le programme de qualification des recycleurs afin de s'assurer que les PEFVU sont manipulés de manière écologique et socialement acceptable, afin de répondre aux exigences de ce règlement (ARPE, 2016b; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC], 2019a; ANQ, 2019b).

3.9.3 Exportation des DEEE

L'implantation de nouvelles règles, la régulation et la politique de recyclage des EEE par le gouvernement ont permis de réduire les DEEE envoyés dans des sites d'enfouissement (Kumar et Holuszko, 2016), ce qui a comme bénéfices de réduire les impacts environnementaux d'enfouissement et sur la santé humaine ainsi que de permettre de les recycler et d'utiliser les matériaux des PEFVU et des TI. (Baldé et al., 2017)

En ce qui a trait à la législation concernant l'exportation illégale des DEEE, le Canada est signataire de la convention de Bâle. Il s'agit d'une convention entre 186 pays. La convention de Bâle est sous le contrôle des Nations unies et est entrée en vigueur au Canada et à l'échelle mondiale le 5 mai 1992. « L'objectif général de la Convention de Bâle est de protéger la santé humaine et l'environnement contre les réactions indésirables de la production, des mouvements transfrontières et de la gestion de déchets dangereux et d'autres déchets » (Environnement et Changement climatique Canada [ECCC], 2018). Le Canada met en œuvre la Convention de Bâle au moyen du Règlement sur l'exportation et l'importation de déchets dangereux et de matières recyclables dangereuses (DORS/2005-149) qui découle de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (L.C. 1999, ch. 33). (ECCC, 2018; RECYC-QUÉBEC, 2009)

La législation sur l'exportation et l'importation de déchets dangereux et de matières dangereuses permet ainsi de réduire les impacts négatifs des DEEE dans d'autres pays, mais également d'augmenter le taux de recyclage des DEEE au Canada, qui utilise des méthodes de recyclages plus performantes que celle des pays en développement. En plus des avantages environnementaux découlant de la convention de Bâle, elle permet d'harmoniser des exigences réglementaires du Canada avec celles de l'Union européenne et de l'OCDE (ECCC, 2018).

Ce chapitre contient beaucoup d'information pour mieux comprendre le contexte mondial des TI et Canadien sur plusieurs aspects. Voici quelques éléments importants à retenir avant de continuer la lecture du chapitre 4 qui aborde l'économie circulaire :

- Le modèle d'affaires actuel est linéaire : « extraire, fabriquer, jeter »;
- Le modèle économique actuel favorise la surconsommation des TI par différents moyens;
- L'implantation du nouveau réseau 5G influencera le cycle de renouvellement des TI;
- La responsabilité de l'obsolescence, qui est le principal facteur influençant le cycle de renouvellement des TI, est partagée par les fabricants et les consommateurs;
- La conception des fabricants TI joue un rôle important dans sa durabilité;
- Le comportement des consommateurs joue un rôle autant pour le remplacement d'un TI que pour ses décisions de fin de vie de l'appareil;
- Le réseau de collecte et les méthodes de recyclage jouent un rôle important dans la performance de recyclage des TI;
- La législation peut jouer un rôle important en ce qui concerne le cycle de remplacement et le recyclage des TI.

4. ACTIONS CIRCULAIRES ET ALTERNATIVES DES ACTEURS

Ce chapitre expose d'abord les notions théoriques de l'économie circulaire. Ensuite, les sections acteurs économiques et demandes et comportements des consommateurs se penchent sur les actions circulaires afin d'allonger la durée de vie et d'utilisation des TI dans une stratégie de ralentissement de boucle des ressources. Finalement, la section recyclage et gestion en fin de vie des TI présente les moyens proposés afin d'augmenter le recyclage des TI chez les différents acteurs concernés, fabricants, industries du recyclage des DEEE, acteurs de la collecte, dans une stratégie de fermeture de boucle des ressources.

Plusieurs actions énumérées dans ce chapitre ont été mentionnées au chapitre 3. En ce qui concerne celles actuellement utilisées, le chapitre 4 présente des améliorations afin d'augmenter leurs bénéfices.

4.1 Les moteurs du changement du modèle économique linéaire

Tel que vu dans la section 3.1, le modèle linéaire actuel, qui est basé sur le concept « extraire, fabriquer, jeter », n'est pas un modèle soutenable à long terme, en particulier pour les TI. En effet, ce modèle est de plus en plus remis en question et un changement profond de l'économie est nécessaire. Les facteurs suivants indiquent cette nécessité de changement.

Pertes économiques et gaspillages structurels : le modèle de création de valeur de l'économie actuelle est inefficace. Tout système basé sur la consommation plutôt que sur le renouvellement des ressources entraîne inévitablement des pertes importantes tout au long de la chaîne de valeur. Dans la production de biens, d'importants volumes de matériel sont souvent perdus dans la chaîne d'approvisionnement entre l'exploitation minière et la fabrication finale. De plus, pour la plupart des matériaux, le taux de récolte conventionnel à la suite de leur première fin de vie utile est faible comparé au taux de fabrication initiale. (EMF, 2013a). Par exemple, en Europe, le recyclage des matériaux et la revalorisation de valeur des déchets n'utilisent que 5% de la valeur initiale des matières premières (EMF, 2013a).

Risques du marché : le système linéaire expose davantage les entreprises aux risques liés à la volatilité des prix des matières premières ainsi qu'aux ruptures d'approvisionnement. Les prix des métaux et des produits agricoles ont connu une volatilité plus grande au cours de la période se situant entre 2000 et 2011 que durant le XX^e siècle.

Risques d'approvisionnement : plusieurs régions du monde disposent de stock limité de matières premières non renouvelables et dépendent des importations d'autres pays. En plus des risques d'approvisionnement, le risque de sécurité et sûreté lié à l'optimisation des chaînes d'approvisionnement mondiales, longues et complexes semble augmenter. (EMF, 2013a)

Dégradation des écosystèmes : la multitude d'impacts environnementaux liés au modèle linéaire constitue l'un des défis à long terme pour la création de richesse à l'échelle mondiale. L'épuisement des réserves de ressources naturelles à faible coût et la dégradation du patrimoine naturel affectent la productivité des économies. Les facteurs qui contribuent aux pressions environnementales sont entre autres le changement climatique, la disparition de la biodiversité et du patrimoine naturel, la dégradation des sols et la pollution des océans. (EMF, 2013)

La figure 4.1 présente les prévisions de la croissance de l'extraction des ressources naturelles par catégories. On peut observer une forte augmentation, de l'ordre de 200%, de l'extraction des minerais métalliques entre 1980 et les prévisions pour 2020. Le CAGR représente le taux de croissant annuel moyen.

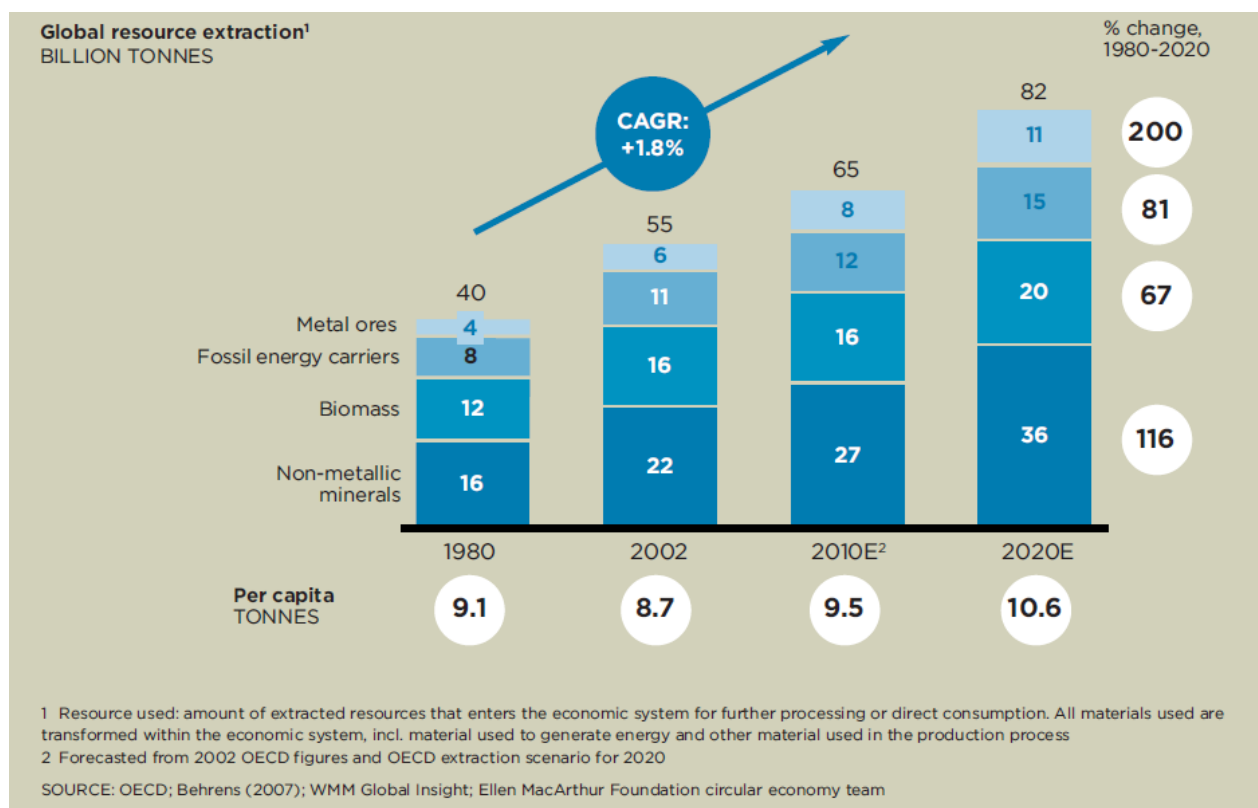


Figure 4.1 - Extraction mondiale des ressources de 1980 à 2020 (tiré de : EMF, 2013a)

Tendance démographique : l'organisme des Nations unies (ONU) prévoit que la croissance de la population mondiale va se stabiliser aux alentours de 10 milliards d'habitants d'ici 2100 (EMF, 2013a). Une augmentation de la population mondiale se traduit inévitablement par une augmentation de la consommation et ainsi augmente les pressions sur les ressources naturelles. Un facteur qui a un plus grand impact sur celles-ci est la croissance de la classe moyenne. D'ici 2030, si la tendance de croissance économique de la Chine et de l'Inde continue à augmenter aussi rapidement ainsi que d'autres économies de marché émergentes,

McKinsey anticipe une augmentation de 3 milliards de nouveaux consommateurs de la classe moyenne, qui atteindrait ainsi 5 milliards de consommateurs. (EMF, 2013a; Toth et Szigeti, 2016)

Comme le mentionne Ellen Marcharthur : « Concentrer les efforts sur une solution basée sur le rendement; réduction du volume de ressources, énergie consommée par unité produit est futile, car cela ne change pas le fait que les matières premières sont des ressources limitées et ne fera que retardé l'épuisement. » (EMF, 2013a) Il devient donc inévitable de trouver un nouveau modèle économique. Pour plusieurs organismes, entreprises, personnalités, responsables politiques, l'ÉC est un modèle économique qui pourrait répondre aux obstacles futurs des ressources limitées et aussi générer de la croissance, créer des emplois et réduire les impacts environnementaux, y compris les émissions de carbone (EMF, 2013a). Dans la section suivante, l'ÉC sera défini, et ses principes et piliers seront abordés.

4.1.1 Définition, principes, boucles et piliers de l'économie circulaire

En se basant sur le contexte économique actuel, cet essai explore les actions possibles du modèle économique alternatif, l'ÉC, afin de ralentir et de fermer le cycle des ressources pour les TI. L'ÉC tire ses origines de divers concepts théoriques/écoles de pensées, qui sont apparus au cours du XX^e siècle, tels que le développement durable, l'économie verte, l'économie de fonctionnalité, le concept de cycle de vie, le concept de « Cradle to cradle » (du berceau au berceau), l'écologie industrielle, la responsabilité élargie des producteurs, l'écodesign et le concept de valeur partagée au XXI^e siècle (EMF, 2019; Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services [CIRAIG], 2015).

En 2010, la fondation d'Ellen MacArthur a été créée par Ellen MacArthur, qui est considérée comme la sommité en matière d'ÉC. La fondation est vue comme le « leader » dans le domaine. En 2013 et 2014 respectivement, la France et le Canada ont créé leur propre institut en matière d'ÉC, soit l'institut national de l'économie circulaire et l'institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (EDDEC) pour le Québec (CIRAIG, 2015).

Il existe plusieurs définitions de l'ÉC, qui sont toutes présentées et connectées avec celle plus communément acceptée de la fondation d'Ellen Macarthur. Selon cette définition, l'ÉC est : « une économie restauratrice et régénératrice par nature, qui vise à maintenir systématiquement les produits, les composants et les matériaux à leur niveau d'utilité et de valeur optimal, en faisant la distinction entre les cycles techniques et les cycles biologiques ». (EMF, 2013a)

L'ADEME, pour sa part, a une définition de l'ÉC bien à elle : « Un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité

de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus. (ADEME, 2014).

En l'absence d'une définition consensuelle internationale, l'Institut EDDEC ainsi qu'une quinzaine d'acteurs stratégiques ont co-construit une définition québécoise de l'ÉC : « Système de production, d'échange et de consommation visant à optimiser l'utilisation des ressources à toutes les étapes du cycle de vie d'un bien ou d'un service, dans une logique circulaire, tout en réduisant l'empreinte environnementale et en contribuant au bien-être des individus et des collectivités » (Institut EDDEC, 2019). Selon la fondation d'Ellen Macarthur, l'ÉC se base sur les trois principes suivants, qui répondent aux défis auxquels sont exposées les économies industrielles modernes:

1^{er} principe : « **préserver et développer le capital naturel** ... en contrôlant les stocks de ressources finies et en équilibrant le flux des ressources renouvelables. »

2^e principe : « **optimiser l'exploitation des ressources** ... en favorisant la circulation des produits, composants, et matériaux à leur meilleur niveau de performance dans le cycle biologique et technique. »

3^e principe : « **créer les conditions propices au développement d'un système vertueux** ... en identifiant et éliminant les externalités négatives. » (EMF, 2019).

Les **principes et caractéristiques fondamentaux** de l'ÉC conduisent à quatre sources de création de valeur.

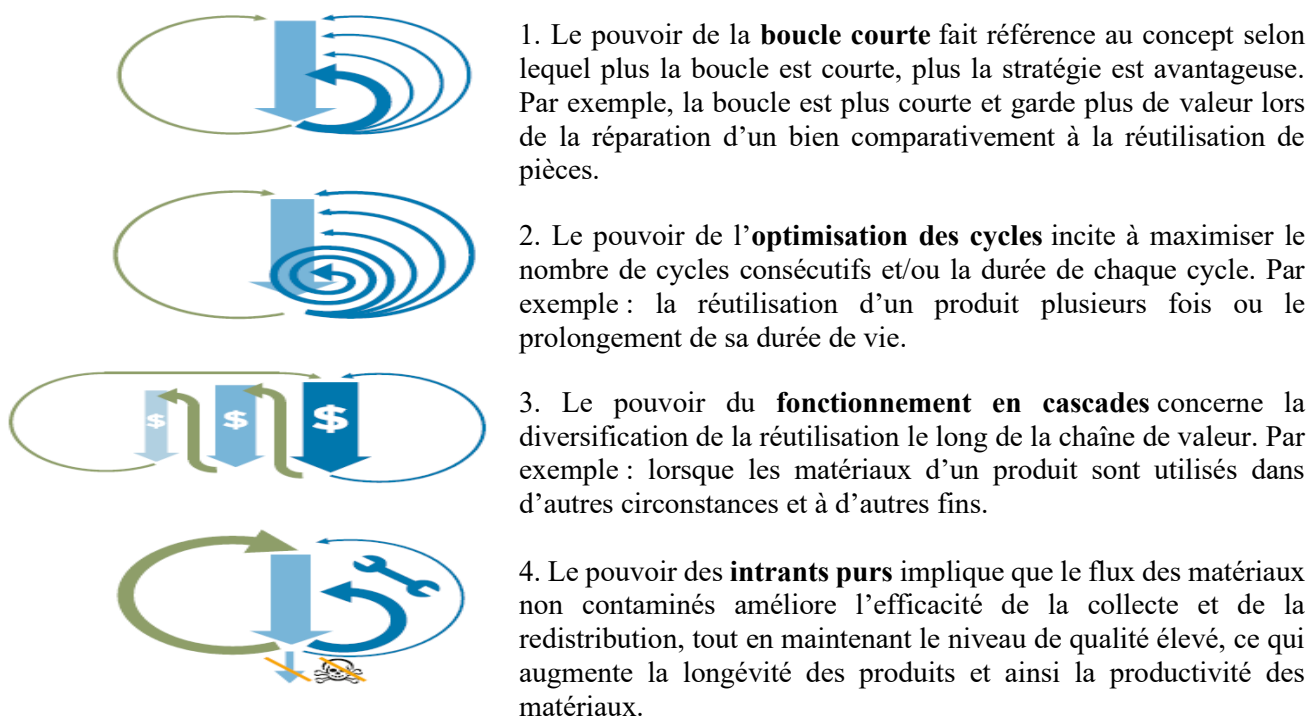


Figure 4.2 - Principe et caractéristique fondamentaux (tiré et traduction libre de : EMF, 2013a)

L'ADEME sépare le concept de l'ÉC en trois domaines d'action, soit l'offre des acteurs économiques, la demande et le comportement des consommateurs, ainsi que la gestion des déchets. Sept piliers constituent la base de ces domaines de l'ÉC. La figure 4.3 schématise ces différents piliers. Cet essai abordera pour sa part 4 piliers de l'ÉC, soit :

- **Écoconception** : conception d'un produit, d'un bien ou d'un service, qui prend en compte ses effets négatifs sur l'environnement tout au long de son cycle de vie afin de les réduire, tout en s'efforçant de préserver ses qualités ou ses performances.
 - **Consommation responsable** : la consommation responsable doit conduire l'acheteur, qu'il soit un acteur économique (privé ou public) ou un citoyen consommateur, à effectuer son choix en prenant en compte les impacts environnementaux à toutes les étapes du cycle de vie du produit (biens ou services).
 - **Allongement de la durée d'usage** : l'allongement de la durée d'usage par le consommateur conduit au recours à la **réparation**, à la vente d'occasion ou au don, ou à l'achat d'occasion dans le cadre du **réemploi** ou de la **réutilisation**.
 - **Recyclage** : le recyclage vise à utiliser les matières premières issues de déchets, en boucle fermée (usage dans les mêmes produits) ou en boucle ouverte (utilisation dans d'autres types de biens).
- (EMF, 2013; ADEME, 2014)

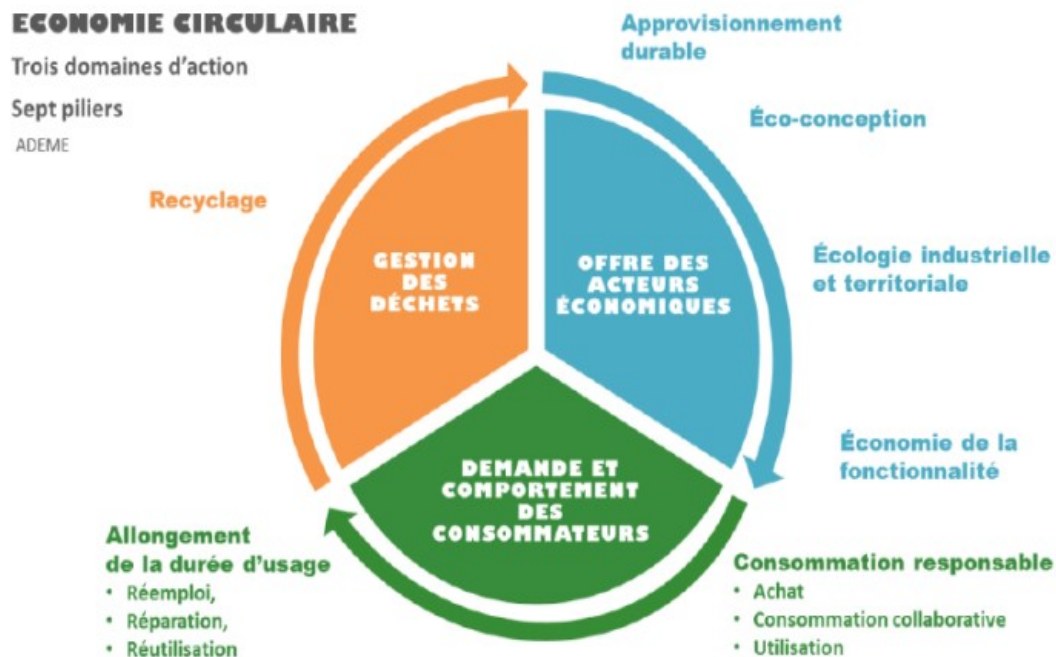


Figure 4.3 - Schéma de l'ÉC selon l'ADEME (tiré de : ADEME, 2014)

Les piliers de l'ÉC et leurs actions associées, qui permettent d'atteindre la stratégie de ralentissement des boucles de ressources visant à allonger la durée de vie et d'utilisation des TI et ainsi réduire la fréquence de remplacement des TI, sont l'écoconception, la consommation responsable et l'allongement de la durée d'usage. Le pilier du recyclage sera abordé afin d'atteindre l'objectif de fermeture des boucles de ressources. Le reste du chapitre sera séparé selon ces deux stratégies. Les différents acteurs vus dans le chapitre 3, soit les acteurs économiques (fabricants appareils et logiciel, distribution de service téléphonique), les responsables politiques, les consommateurs, l'entreprise de collecte et récupération), font partie des pistes de solutions dans ce chapitre. Cet essai vise à présenter des pistes d'action qui permettent d'atteindre l'objectif sans toutefois expliquer spécifiquement comment les mettre en place. Les actions présentées pour augmenter la durée de vie des TI constituent en quelque sorte des solutions afin de réduire l'effet des différents types d'obsolescence des TI vus à la section 3.3 (Cooper, 2005).

Cycles de ressource : ralentissement et fermeture

En 2016, Broken et al. présentent dans un article 2 stratégies de mise en boucle des ressources. Ils établissent une distinction avec une 3^e stratégie, afin de réduire l'utilisation des ressources, qui ne sera pas abordée dans cet essai.

1. **Ralentissement des boucles de ressources** : par le design des biens à longue durée de vie et l'extension de la durée de vie des produits, la phase d'utilisation des produits est allongée et/ou intensifiée, entraînant alors un ralentissement du flux des ressources.
2. **Fermeture des boucles de ressources** : par le recyclage, la boucle entre la fin de vie et la production est fermée, provoquant un flux circulaire des ressources.

La figure 4.4 présente visuellement les deux stratégies et une combinaison des deux. La stratégie 1 est représentée par le schéma cycle de vie linéaire allongé, tandis que la 2^e stratégie est représentée par le schéma flux circulaire. La combinaison des deux stratégies, pour sa part, est illustrée par le schéma cycle de vie circulaire allongé.

Afin de répondre à l'objectif de cet essai, celui de réduire l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables causé par la production des TI, les deux stratégies seront évaluées au chapitre 5.

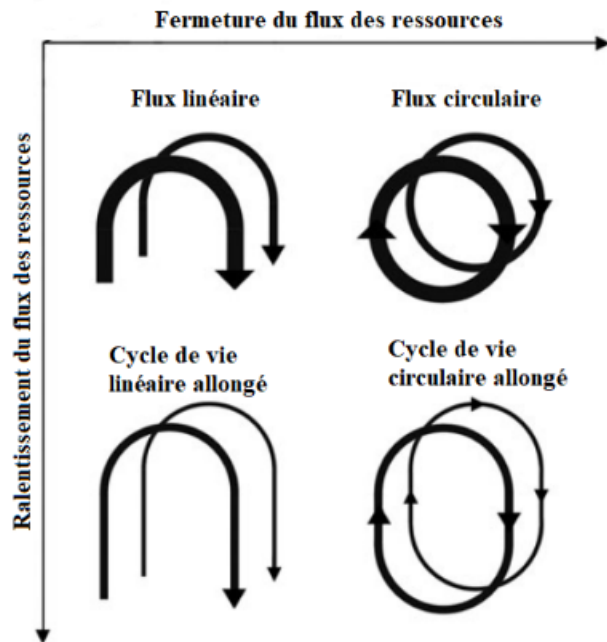


Figure 4.4 - Catégorisation des approches linéaires et circulaires pour réduire l'utilisation des ressources (traduction libre de : Bocken et al., 2016)

4.2 Limitations

L'ÉC comporte plusieurs bénéfices importants à différents niveaux de la chaîne de valeur et ce changement d'économie semble inévitable. Toutefois, ce concept n'est pas parfait et peut mener à des effets négatifs, par exemple l'effet rebond. L'effet rebond est dans ce cas-ci une conséquence/externalité négative du réemploi.

Des recherches récentes ont commencé à contester le cœur de l'ÉC, notamment dans le cas du concept de fermeture de la boucle des ressources, où certains se demandent si cette stratégie réduit réellement la production primaire des biens (Makov et Font Vivanco, 2018; Reuter et al., 2018; Zink et Geyer, 2017). Les TI remis à neuf sont rarement en concurrence dans le même marché avec les nouveaux TI. Au lieu de cela, ces téléphones d'occasion sont vendus à des consommateurs de pays en développement qui ne seraient en mesure de se payer un nouvel appareil. Les auteurs suggèrent ainsi qu'il faudrait plutôt comparer l'impact des TI reconditionnés versus aucun TI au lieu de celui d'un TI reconditionné versus un TI neuf (Makov et Font Vivanco, 2018).

Une étude de Makov et al. réalisée en 2018 sur l'effet rebond du réusage des TI a mené à des résultats surprenants. En effet, l'argent sauvé par l'achat d'un TI reconditionné (remis à neuf) était dans plusieurs cas utilisé pour acheter d'autres biens et consommer davantage, ce qui réduisait les bénéfices du réusage des TI

en termes d'émission GES. L'étude a constaté qu'en moyenne les bénéfices de réduction des émissions de GES étaient diminués de 29% par l'effet rebond du réusage des TI (Makov et Font Vivanco, 2018).

4.3 Acteurs économiques, fabricants des appareils et des logiciels

Cette section présente le pilier de l'écoconception qui permet d'allonger la durée de vie des TI. Il concerne les acteurs économiques, les fabricants des appareils et des logiciels.

4.3.1 Écoconception

L'écoconception permet de concevoir dans le but d'allonger la durée de vie des biens, les TI dans ce cas-ci. L'écoconception constitue le pilier le plus important afin d'allonger la durée de vie des TI. De plus, il est estimé que 80% des impacts et 70% des coûts environnementaux et sociaux des produits et services peuvent être évités dès l'étape de la conception d'un produit (Graedel et Allembly, 1995; MEIQ, 2019).

La vision de cycle de vie est fondamentale à l'écoconception. Contrairement à la conception traditionnelle où seulement l'assemblage, le transport et l'usage sont pris en compte, l'écoconception élargit la portée de la conception pour prendre en compte toutes les étapes du cycle de vie. L'écoconception a donc autant d'importance, car elle agit à tous les niveaux du cycle de vie. Dans la figure 4.5, le schéma présente la différence conceptuelle de l'écoconception et de la conception traditionnelle.

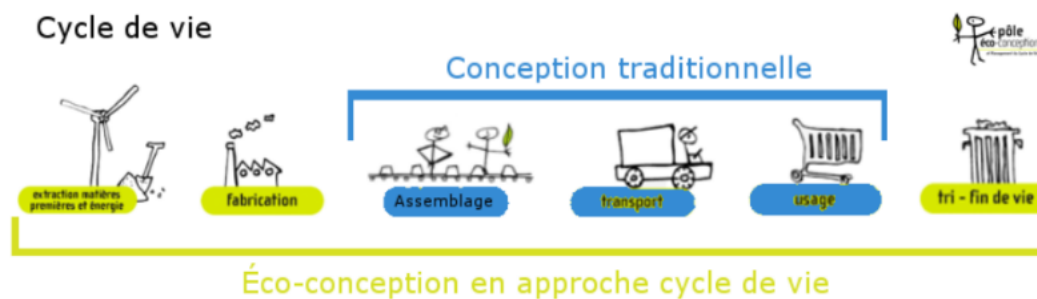


Figure 4.5 - Schéma de l'écoconception et de la conception traditionnelle (tiré de : Pôle éco-conception, 2019)

La section sur l'écoconception sera séparée en 2 parties : la première partie présentera les actions de l'écoconception dans une stratégie de ralentissement de la boucle des ressources et la 2^e partie abordera ces mêmes actions dans une stratégie de fermeture de boucle. La deuxième partie de l'écoconception sera présentée à la section 4.5.1.

Deux stratégies de l'écoconception permettent de ralentir le flux de ressources. La première est la conception pour la longue durée de vie des biens, en assurant une longue période d'utilisation des produits. La deuxième

consiste en l'augmentation de la durée de vie des biens en introduisant de nouvelles boucles de services, telles que le réusage, la réparation, l'amélioration technique et une combinaison de ceux-ci afin d'augmenter la durée de vie du bien (Bocken et al., 2016). Le tableau 4.1 présente un groupement des facteurs de conception à utiliser pour atteindre les stratégies de l'écoconception dans le cas du TI.

L'écoconception permet ainsi de répondre à plusieurs éléments qui réduisent la durée de vie ou d'usage des TI, vus au chap. 3, tels que l'obsolescence, la difficulté à réparer un TI, le manque de disponibilité des pièces, les composants soudés.

Les téléphones modulaires sont des TI écoconçus. Ses TI sont dotés de composants (ex : batterie, haut-parleurs, unité d'affichage, caméra, boîtier) qui peuvent être remplacés pour être améliorés dans le temps et qui sont plus durables pour réduire leurs impacts environnementaux. Quelques compagnies offrent un modèle de téléphone modulaire comme la gamme moto Z de Motorola, le Eco-Mobius de ZTE, le Fairphone 2 de Fairphone et le Phoneblocks de Phoneblocks. (Olivier, 2015; Szilágyi, 2013; Proske et al., 2016)

Tableau 4.1 - Critères d'écoconception pour la stratégie de ralentissement de boucle des ressources (compilation d'après : Bocken et al., 2016; EMF, 2017,2018)

Ralentissement de la boucle des ressources			
Critères	Objectifs	Facteurs de conception	Description
Conception des TI à longue durée de vie			
Conception pour la durabilité	L'utilisateur garde le TI le plus longtemps possible avec un minimum d'interventions.	Durabilité physique	Construire un appareil de qualité qui est résistant (ex. connections entre les composants, l'intégrité du boîtier, fiabilité)
		Durabilité des composants	Les composants fonctionnent pour la durée de vie de l'appareil (ex. robustesse des composants)
		« Durabilité » émotionnelle	L'aspect de l'appareil résiste à l'aspect du temps (ex. design intemporel, connexion émotionnelle avec le TI)
Conception pour l'allongement de la durée d'utilisation des TI			
Conception pour la réparation	L'appareil peut être réparé à un prix économique et dans un temps raisonnable	Facilité à remplacer les composants qui brisent	Les pièces qui brisent peuvent être remplacées à un prix et un temps rentable
		Disponibilité des pièces de remplacement	
Conception pour la l'évolutivité	Les fonctions peuvent être adaptées et améliorées pour correspondre aux nouveaux besoins de l'usager	Facilité à remplacer les composants dépassés	Les composants sont accessibles et peuvent être remplacés à un prix et dans un temps rentable, sous forme de téléphone modulaire

Tableau 4.1 - Critères d'écoconception pour la stratégie de ralentissement de boucle des ressources (suite)

Critères (suite)	Objectifs (suite)	Facteurs de conception (suite)	Description (suite)
Conception pour la l'évolutivité (suite)	Les fonctions peuvent être adaptées et améliorées pour correspondre aux nouveaux besoins de l'utilisateur (suite)	Compatibilité des composants	Les composants sont compatibles à travers la génération des produits
Conception pour le reconditionnement	Un technicien peut restaurer les performances de l'appareil à ses performances initiales	Facilité de l'entretien des composants	Les composants réutilisables sont facilement identifiables et accessibles et peuvent être facilement entretenus
		Facilité à restaurer l'esthétique de l'appareil	L'esthétique du boîtier peut être restaurée à un coût rentable
		Traçabilité des matériaux	La localisation et la composition des matériaux sont tracées pour assurer la récupération du maximum de valeur
Compatibilité logicielle	S'assurer que les logiciels permettent la longévité du matériel des appareils	Stabilité des systèmes d'exploitation	Assurer que l'appareil peut garder ses fonctions principales à travers le temps
		Conseil de prolongation de vie	Garder les usagers informés à propos des performances de l'appareil et fournir des conseils en lien avec leurs besoins fonctionnels
		Évolutivité fonctionnelle	Les logiciels améliorent les fonctionnalités du matériel (ex : stockage d'information par le « Cloud », systèmes d'exploitation et applications moins spacieuses).

4.4 Demande et comportement des consommateurs

Les consommateurs jouent un rôle primordial afin d'allonger la durée d'utilisation des TI et réduire leur fréquence de remplacement. Cette section sera divisée en deux parties. La première partie abordera les actions de l'ÉC que les consommateurs peuvent utiliser pour augmenter la durée d'usage de l'appareil, et la deuxième abordera la prise de décision lors de l'achat et l'utilisation des TI.

Dans la section 3.2.4, le changement de technologie pour le réseau G5 semble inévitable et s'accompagner d'une augmentation des remplacements de TI incompatibles avec le nouveau réseau. Les actions circulaires suivantes peuvent aider à prolonger les TI qui ne seront plus compatibles avec le G5 pour augmenter leur durée de vie.

4.4.1 Allongement de la durée d'usage

Les utilisateurs peuvent avoir recours à plusieurs boucles de services afin d'augmenter la durée d'usage de leur TI. Ils peuvent avoir recours au réemploi, à la réparation ou à la réutilisation. Ces boucles de services sont présentées en ordre des actions qui conservent le plus de valeur, en lien avec le principe de l'ÉC du pouvoir de la boucle courte. La plupart des consommateurs achètent leur appareil neuf, donc il est nécessaire de communiquer la valeur résiduelle du produit après l'utilisation pour allonger sa durée de vie et d'éviter de jeter des téléphones encore fonctionnels (Équiterre, 2018).

Réemploi : le réemploi est l'opération par laquelle un produit est donné ou vendu à un tiers qui, a priori, lui donnera une seconde vie. (ADEME, 2014)

Lorsque les utilisateurs se débarrassent de leur TI qui sont encore fonctionnels, ils peuvent le vendre ou le donner à un autre usager afin de donner une deuxième vie à l'appareil. Lorsqu'un TI est réemployé, sa durée de vie est alors prolongée.

Pour maximiser la valeur et les bénéfices environnementaux du réemploi, les appareils doivent être collectés le plus tôt possible, même s'il y a une valeur dans les appareils après cinq ans à compter de la date de vente initiale (Green Alliance, 2015).

Réparation : la réparation consiste à remettre en état d'usage ou en fonctionnement des produits étant abîmés ou hors d'usage. (ADEME, 2014)

De nos jours, les consommateurs n'ont pas le réflexe de chercher à réparer leurs produits endommagés et se tourner vers le secteur de la réparation (ADEME, 2016a). Il est plus simple de le remplacer en achetant un nouveau.

Les utilisateurs peuvent avoir recours aux services de réparation d'entreprises spécialisées afin de réparer leur TI. Ces entreprises de réparation offrent plusieurs services tels que vus à la section 3.8. Les usagers peuvent également tenter par eux-mêmes de réparer leur appareil. En réparant leur TI, les usagers augmentent la durée d'utilisation de leur TI.

Réutilisation : la réutilisation permet à ce que des déchets puissent être remis en état sous forme de bien d'occasion ou soient démontés et les pièces en état de fonctionnement triées puis revendues. (ADEME, 2014)

La réutilisation des TI peut se faire à l'aide de deux méthodes. L'appareil en entier peut être reconditionné ou les composants encore fonctionnels peuvent être réutilisés. Le reconditionnement d'un TI consiste à le remettre à niveau ou en état. Le reconditionnement peut être effectué par l'utilisateur, mais il est plus souvent réalisé par des techniciens dans des entreprises spécialisées. Il est important que l'utilisateur envoie le TI en fin de vie dans la bonne filière de récupération, afin de permettre la réutilisation. Lorsque les TI sont reconditionnées ou que les composants sont réutilisés, leur durée d'utilisation est augmentée.

Les entreprises sont maintenant en mesure d'automatiser l'évaluation des appareils en fin de vie utile, d'autant plus que les coûts de l'implémentation de la remise à neuf à l'échelle industrielle sont réduits. Toutefois, il existe encore une différence considérable entre l'efficacité et la sophistication de la fabrication des nouveaux appareils comparativement au traitement des appareils usagés. Cependant certains consommateurs sont craintifs de la qualité des TI reconditionnés. Pour changer cette perception, l'ajout d'une garantie pour réduire ces craintes ou informer le consommateur sur les techniques et qualités des TI reconditionnés pourrait constituer une solution. (EMF, 2018)

4.4.2 Consommation responsable

Le consommateur joue le rôle le plus important dans l'achat du TI, car c'est à lui que revient la décision de faire un achat ou non. Selon un sondage de l'ADEME réalisé auprès des consommateurs de téléphones portables en 2018, ceux-ci ont une forte perception négative de l'obsolescence « programmée » qu'ils subissent. Ils ont cependant une faible reconnaissance du rôle qu'ils jouent dans l'obsolescence qu'ils choisissent, lorsqu'ils remplacent leur appareil rapidement (Équiterre, 2018).

La consommation responsable requiert que le consommateur puisse faire un choix éclairé lors de ses achats en considérant les impacts de ceux-ci en termes de durée de vie des produits, d'environnement et de ressources. Le consommateur responsable peut ainsi privilégier les TI à plus longue durée d'usage, réparables, et qui, le cas échéant, peuvent être mis à niveau. L'utilisation responsable s'ajoute également

aux achats responsables, c'est-à-dire que les utilisateurs du TI respectent les conditions optimales d'usage afin de préserver sa durée de vie. (ADEME, 2014,2016)

Il y a trois types de consommateurs : les avertis, les attentistes et les novices. Les groupes se caractérisent respectivement par une perception de l'obsolescence et une attente envers les fabricants et fournisseurs d'élevées à faibles. Les mesures pour informer les consommateurs doivent être prises en compte dans les objectifs et cibles du message afin d'obtenir de meilleurs résultats. (Équiterre, 2018; Suckling et Lee, 2015)

Voici les différents objectifs selon les types de consommateurs;

- **Ceux qui souhaitent faire durer leur TI le plus longtemps possible** : miser sur la qualité des appareils, adopter une consommation responsable, favoriser la réparation des TI;
 - **Ceux qui souhaitent faire évoluer leur appareil au fil des changements technologiques** : rechercher la modularité des modèles de TI, privilégier l'abonnement en location;
 - **Ceux attirés par le changement** : optimiser le réemploi, utiliser les programmes de reprise de TI.
- (Équiterre, 2018)

Achat : selon le principe de hiérarchisation des 3RV-E (réduction, réemploi, recyclage, valorisation), l'action la plus importante pour diminuer les impacts environnementaux de la consommation est la réduction à la source (Bocken, 2017; MDDELCC, 2019b). En d'autres mots, il s'agit de moins consommer. Lorsque le consommateur est conscientisé par rapport aux impacts environnementaux à toutes les étapes du cycle de vie des TI, il peut faire un choix plus éclairé lors de l'achat d'un nouveau TI.

Par exemple, il peut considérer la quantité de matériaux nécessaire à la fabrication des TI, puisque les TI dotés d'écrans de plus grande taille demandent plus de matériaux et entraînent plus d'impacts. Il peut également remettre en question la nécessité de remplacer son appareil. Finalement, il peut envisager des options alternatives à l'achat, telles que les TI usagés ou reconditionnés.

Il faut donc inciter et accompagner le changement de comportement du consommateur, afin de réduire sa consommation. La majorité des études sur le sujet du comportement des consommateurs et de la durée de vie de produits mettent en évidence une asymétrie entre le consommateur et le vendeur, d'où l'importance de mieux informer le consommateur sur les impacts de son achat et sur la durée de vie. Le consommateur peut ignorer la qualité du bien qu'il veut acheter, par manque d'information, et ne prend alors pas en compte la durée de vie de l'appareil et le prix total d'usage. Le consommateur a donc tendance à acheter le produit le moins coûteux au détriment de la durée de vie du produit. (ADEME, 2016a)

L'une des méthodes pour informer le consommateur lors de l'achat d'un produit ou d'un TI est l'affichage environnemental ou écoétiquetage. L'affichage pourrait indiquer la durée de vie moyenne de l'appareil, un indice de réparabilité, indice de recyclabilité, la durée de disponibilité des pièces détachées et accessoires et l'impact environnemental de modèle de TI dans les phases de son cycle de vie (analyse de cycle de vie) (ADEME, 2016; Bordage, 2019; Reuter et al., 2018; Équiterre, 2018).

Utilisation : dans une logique d'économie circulaire, les bonnes pratiques d'utilisation permettent d'augmenter la durée de vie des TI. Il est possible de se procurer un étui ou écran protecteur qui augmente la protection du TI et permet de prolonger sa durée d'utilisation. Dans plusieurs cas, cette protection supplémentaire évite de briser l'appareil lorsqu'il est échappé accidentellement.

L'adoption de bonnes pratiques lors de la recharge d'un TI peuvent également allonger la durée de vie de la batterie. Voici quelques bonnes pratiques à suivre :

- Éviter un cycle de recharge complet (de 0 à 100%) et de nuit. Il est préférable de charger plus fréquemment son téléphone par le biais de cycle de recharge partiel.
- Terminer la charge à 80% est plus bénéfique pour la batterie qu'une charge complète à 100%.
- Utiliser les technologies de charge rapide avec parcimonie et jamais durant la nuit.
- La chaleur est nuisible pour la batterie. Ne pas couvrir le téléphone lors de la recharge ou le garder dans un endroit chaud.
- Fermer le téléphone lors de la recharge, ou du moins ne pas écouter des films ou jouer à des jeux afin d'éviter des mini-cycles de recharge. (Triggs, 2019)

L'information transmise aux consommateurs joue un rôle important afin d'allonger la durée d'utilisation des TI et réduire leur consommation. Le tableau 4.2 présente plusieurs actions possibles afin de changer la demande et le comportement des consommateurs lié à l'achat de TI.

Tableau 4.2 - Actions proposées afin de changer la demande et le comportement des consommateurs (inspiré de : Bocken, 2017; ADEME, 2016a,b; Équiterre, 2018)

Changement de la demande et du comportement des consommateurs		
Méthode	Objectifs	Description
Allonger la durée d'usage des TI		
Informers	Changer la perception des consommateurs	Afin de réduire la crainte des consommateurs sur des alternatives possibles telles que les TI reconditionnés, l'ajout d'une garantie sur des TI reconditionnée peut rassurer ces derniers.
	Promouvoir l'importance du réemploi	Le réemploi est préférable au neuf
	Promouvoir l'importance de la réparation	La réparation est préférable au neuf
Consommation responsable		
Informers	Sensibiliser le consommateur aux impacts environnementaux lors de l'achat d'un nouveau TI	Par l'affichage environnemental, écoétiquetage ou par affichage qualitatif
	Importance de la protection physique du TI afin d'augmenter sa durée de vie	Par l'usage de boîtier et d'écran protecteur
	Importance de prolonger la durée de vie de la batterie	Par l'utilisation de bonnes pratiques de recharge des appareils

L'objectif de ces informations est de promouvoir les démarches de réparation et du réemploi, d'encourager l'achat de TI durable et d'utiliser son TI de façon optimale. Au-delà de cette information nécessaire, il faut également communiquer de façon pédagogique au sujet des avantages, notamment financiers, liés à l'allongement de la durée de vie du TI.

4.5 Recyclage et gestion des TI en fin de vie

Cette section présente le recyclage, qui est essentiel au concept d'économie circulaire, car il permet de mettre en boucle les ressources. Le recyclage des TI est présent mondialement, ainsi qu'au Canada et au Québec. Comme vu à la section 3.5, des programmes de collecte pour les recyclages des DEEE et des TI sont déjà en place. Les métaux sont en pratique indéfiniment recyclables ; cependant, plusieurs limitations en pratique font obstacle, telles que le comportement des consommateurs en fin de vie, la conception des TI, les technologies de recyclage et la thermodynamique de séparation (Reuter et al., 2018; Reck et Graedel, 2012). Les étapes pour recycler un produit avec un seul matériel sont simples, mais pour un TI il faut beaucoup plus d'étapes pour recycler les 40 éléments et plus qu'il contient. En outre, un produit aussi complexe qu'un TI ne pourra jamais être à 100% recyclé ou fait à partir de 100% de matière recyclée. Un scénario circulaire à 100% n'est donc pas possible, car durant les processus de métallurgie, des pertes à chaque étape du processus de recyclage vont toujours survenir (Reuter et al., 2018; Fairphone, 2017).

De grandes quantités de matières premières non renouvelables sont toutefois perdues. Il faut donc optimiser le recyclage pour perdre le moins de ressources possible (Baldé et al., 2017). Il y a la possibilité d'augmenter le taux de recyclage des TI avec des actions visant les acteurs impliqués dans le recyclage des TI. Dans le cas des TI, puisque l'impact de la production est en grand partie causé par l'épuisement des ressources renouvelables, le recyclage, en fin de vie, permet de récupérer ces matériaux et de les remettre en boucle (Proske et al., 2016).

Il existe différents niveaux de recyclage, soit le recyclage primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire. Plus le recyclage est primaire, plus le matériel recyclé conserve sa valeur initiale. Il est donc préférable de favoriser un type de recyclage plus primaire. Cela ne signifie toutefois pas que les autres types de recyclage comportent moins d'avantages. À titre d'exemple, le recyclage quaternaire, la valorisation dans le cas du plastique, permet la réoccupation d'énergie du matériel ; autrement, il serait enfoui et la valeur perdue. (Bocken et al., 2016)

Afin que les fabricants puissent utiliser les matériaux des TI recyclés, la logistique inverse peut être utilisée : il s'agit d'inverser la chaîne d'approvisionnement. Les matériaux des TI sont réacheminés aux fabricants pour qu'ils puissent les réintégrer dans de nouveaux produits (PACE, 2019). Pour de meilleurs résultats

dans une stratégie de boucle fermée des ressources, l'industrie des téléphones aurait besoin de former un système de collecte conjoint, impliquant tous les acteurs, manufacturiers de composants, opérateurs, vendeurs, fabricants de TI, compagnies de logistique inverse, etc. De tels efforts concertés sont essentiels pour réussir à réduire les pertes de ressources tout au long des étapes de la chaîne de valeur inverse. (EMF, 2018)

4.5.1 Fabricants des TI

La deuxième partie de l'écoconception est présentée ici afin de répondre à la stratégie de fermeture de boucle des ressources. Le tableau 4.3 montre les critères de conception possibles afin d'atteindre ce deuxième objectif.

L'écoconception permet ainsi d'améliorer la recyclabilité des TI et d'utiliser plus de matériaux recyclés lors de leur fabrication. (PACE, 2019; EMF, 2018; Équiterre, 2018) La conception pour le recyclage doit prendre en compte les combinaisons de métaux, composés, plastiques et matériaux fonctionnels pour minimiser les pertes d'éléments. Dans le cas du TI, cela est plus difficile, car les combinaisons de plusieurs matériaux sont complexes. (Reuter et al., 2018).

Tableau 4.3 - Critères d'écoconception pour la stratégie de fermeture de boucle des ressources (compilation d'après : Bocken et al., 2016; EMF, 2017,2018; O'Connor, Zimmerman, Anastas et Plata, 2016)

Fermeture de la boucle des ressources			
Critère	Objectif	Facteur de conception	Description
Choix des matériaux	Choisir des matériaux qui peuvent faire plusieurs cycles	Matériaux recyclés	Augmenter le pourcentage de matériaux recyclés dans la fabrication des appareils
		Matériaux recyclables	Augmenter le pourcentage de matériaux qui peuvent faire plusieurs cycles avant de perdre de la qualité.
Conception pour la recyclabilité	Les appareils sont conçus pour être facilement recyclés par les recycleurs professionnels et de façon rentable.	Facilité de désassemblage	Les principaux composants de l'appareil peuvent être séparés à un prix et dans un temps rentable.
		Matériaux séparables	Limiter la complexité du bilan des matériaux et s'assurer qu'ils peuvent être séparés en fin de vie, par exemple par modularité.
		Traçabilité des matériaux	La localisation et la composition des matériaux sont tracées pour assurer la récupération du maximum de valeur

4.5.2 Établissement de traitement et recyclage des DEEE

Comme vu précédemment à la section 3,7 et au début de la section 4.6, plusieurs facteurs limitent le recyclage des TI en ce qui concerne les techniques ou les traitements. Les établissements de traitement et de recyclage des DEEE sont donc limités par les technologies de recyclage et la thermodynamique de séparation des métaux. Dans cette section, des mesures sont proposées pour augmenter le pourcentage de matériaux recyclés sur un TI.

Voici quelques actions possibles afin d'augmenter la recyclabilité des TI:

- Le choix du traitement et de la méthode de métallurgie optimale est primordial afin d'augmenter la récupération des matériaux des TI;
- Afin d'utiliser la méthode de recyclage la plus appropriée pour les TI, ceux-ci pourraient être collectés, triés et traités à part, le cas échéant;
- La recherche et l'investissement dans de nouvelles technologies de recyclage des TI (ou DEEE) pourraient augmenter le taux de récupération des matériaux et des terres rares;
- Augmenter l'automatisation dans le désassemblage et le reconditionnement. Améliorer l'automatisation des procédés automatiques peut en effet augmenter le nombre de produits et le temps nécessaire pour être traité, ce qui pourrait accroître la rentabilité pour le recyclage (EMF, 2018);
- Le désassemblage manuel pourrait se faire dans les pays en développement pour profiter de la main-d'œuvre à coût faible et utiliser les fonderies efficaces et spécialisée normalement présentes dans les pays développés. (O'Connor et al., 2016)

4.5.3 Collecte des TI usagés

Comme vu dans la section 3.5, au Québec et au Canada, plusieurs programmes de collecte et de traitement pour les DEEE et les TI sont en place.

Afin d'augmenter le recyclage des TI, il faut tout d'abord augmenter le pourcentage de collecte des TI par les différents points de collecte. À l'échelle mondiale, seulement 20% des DEEE sont documentés ; c'est donc seulement une faible proportion qui est collectée et recyclée selon les données recensées (ADEME et al., 2018).

Afin d'augmenter le pourcentage de collecte et atteindre un taux de 50% suggéré dans la fondation d'Ellen Macarthur, la collecte pourrait être augmentée par des incitatifs, par exemple encourager la collecte par programmes de reprise d'appareil (EMF, 2013). Les programmes déjà en place pourraient être publicisés.

De l'argent en échange d'un ancien TI ou des rabais sur un nouvel appareil encourageraient également le consommateur à recycler. La majorité des Canadiens (81%) sont au courant que les téléphones mobiles se recyclent. Cependant, seulement 2% de la population connaît l'existence du programme national officiel Recycle mon cell, dédié spécifiquement au recyclage des TI. Les programmes de collectes officiels devraient donc être publicisés pour qu'ils soient plus efficaces et que les utilisateurs des TI se servent desdits programmes. (Nanos Research, 2018)

4.5.4 Comportement des utilisateurs envers leur TI en fin de vie

Comme vu à la section 3.4.1, l'un des comportements fréquents consiste en ce que les utilisateurs conservent leur ancien TI, ce qui empêche les ressources de retourner en boucle. Il est donc nécessaire de les sensibiliser et de les informer pour qu'ils soient conscients des effets négatifs de les conserver trop longtemps et pour qu'ils les disposent aux bons endroits, à des fins de réemploi, réutilisation ou recyclage. (Équiterre, 2018; EMF, 2018)

L'action la plus importante, puisqu'un important pourcentage de Canadiens ne sont pas au courant des programmes de recyclage, est d'informer les utilisateurs sur la bonne gestion en fin de vie de leurs appareils. Selon un sondage canadien, les méthodes les plus utilisées pour chercher de l'information par les utilisateurs sont d'utiliser internet/google ou de contacter les fournisseurs de service téléphonique au niveau municipal ou gouvernemental (Nanos Research, 2018). La figure A.3 de l'annexe 5 présente les autres options utilisées en pourcentage. Les utilisateurs devraient être informés des moyens qu'ils utilisent le plus couramment.

Certains consommateurs ont des craintes concernant les données de leurs anciens TI (Nanos Research, 2018), les empêchant ainsi de recycler leur appareil. Informer ces utilisateurs des techniques de recyclage, par exemple que les entreprises de recyclage certifiées effacent toutes les données de l'appareil, pourrait les encourager à recycler. La plupart des consommateurs de TI ne sont pas au courant des problèmes environnementaux et des externalités négatives de l'extraction et de l'utilisation des ressources non renouvelables (ADEME, 2017b). L'ACTS mentionne que la sensibilisation accrue des consommateurs favorise le recyclage (Nanos Research, 2018). Effectuer de la sensibilisation envers les usagers pourrait permettre ainsi d'augmenter le recyclage par ceux-ci.

Afin de réussir à réduire l'utilisation de ressources non renouvelables pour les TI, tous les acteurs, fabricants, manufacturier de composants, consommateurs, industrie de recyclage et acteurs dans la collecte auront des rôles à jouer.

5. ÉVALUATION DES STRATÉGIES DE RESSOURCES

Les chapitres précédents ont permis de mettre en contexte les TI à l'échelle mondiale et du Québec, ainsi que de constituer des notions de base sur le cycle de vie et sur l'ÉC. Des actions de l'ÉC ont été exposées au chapitre 4 pour deux stratégies de cycle de ressources afin répondre à l'objectif de l'essai de réduire l'épuisement des ressources naturelles causé par la production des TI. Ce chapitre consistera en une analyse multicritère des actions d'ÉC pour les 2 stratégies présentées au chapitre 4 afin d'évaluer leur effet sur le taux d'extraction des ressources.

5.1 Analyse multicritère

Cette section présente l'analyse multicritère, qui comprend les cotations utilisées, les résultats et la justification de la notation.

5.1.1 Explication des critères d'évaluation utilisés

Afin d'évaluer l'effet de chaque action ou pilier circulaire présenté au chapitre 4 pour les 2 stratégies de boucle de ressources, une variable différente est utilisée pour évaluer chaque stratégie. En ce qui concerne la première stratégie, celle du ralentissement de la boucle des ressources, la variable choisie afin d'évaluer l'allongement de la durée de vie et d'utilisation des TI est la réduction de la fréquence de remplacement des TI par les consommateurs. Cette variable est choisie, car elle inclut tous les effets des actions circulaires, soit l'augmentation de la durée de vie des appareils, l'augmentation de la durée d'usage et la réduction de la consommation. La fréquence de remplacement représente la vitesse à laquelle les consommateurs changent d'appareil. Elle est une donnée simple à comprendre et peut être présentée soit en nombre de mois ou d'années.

Pour la deuxième stratégie, celle de la fermeture de boucle des ressources, la variable choisie afin d'évaluer les effets des actions proposées sur le recyclage est l'augmentation du taux de recyclage des TI en boucle fermée. Tel que vu dans la définition du recyclage, il s'agit d'utiliser les matières premières des anciens TI dans la production de nouveaux. Cette variable est pertinente, car elle englobe tous les effets des actions pour cette stratégie, soit l'augmentation du pourcentage de matériaux recyclés utilisés dans la fabrication d'un nouveau TI, l'augmentation du pourcentage de matériaux recyclés dans les TI collectés en fin de vie et l'augmentation de la collecte des TI.

L'épuisement des ressources naturelles prend en compte le taux d'extraction des ressources et les réserves restantes (Güvendik, 2014). La variable utilisée pour évaluer l'effet des deux stratégies sur les ressources naturelles et ainsi répondre à l'objectif de l'essai, est le taux d'extraction des ressources non renouvelables

utilisées dans la production des TI. Cette variable est importante, car elle permet de répondre à l'objectif de l'essai et de combiner les effets des deux stratégies d'ÉC présentées.

La variable choisie est dérivée et adaptée d'un des deux impacts environnementaux relatés par l'ADEME dans un document d'évaluation environnementale des téléphones mobiles : l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables. Cet indicateur permet de résumer des enjeux environnementaux qui seront compréhensibles pour le consommateur final et est adapté pour les produits électroniques, comme le TI, puisque des matériaux rares (or, argent, étain, tantale, etc.) sont utilisés pour leur fabrication (ADEME, 2016b). Comme mentionné aux chapitres 3 et 4, pour extraire de moins grandes quantités de ressources naturelles pour la production des TI, les moyens les plus évidents sont d'utiliser les TI le plus longtemps possible, de réutiliser les composants et de recycler les matériaux (Greenpeace, 2017a). Les deux stratégies d'ÉC permettent d'atteindre ces résultats.

Les trois variables décrites seront évaluées à l'aide d'une échelle de -1 à 5. Un effet négatif est associé par -1, un effet neutre par 0, un effet légèrement positif par 1, un effet positif par 3 et un effet très positif par 5. Les variables 2 et 4 sont utilisées pour établir une plus grande distinction entre les effets. Pour faciliter la lecture visuelle, un code de couleur correspondant sera également utilisé.

5.1.2 Résultats

Les résultats de l'analyse multicritère sont indiqués dans les tableaux 5.1 et 5.2 et ont été déterminés à l'aide des informations contenues dans les chapitres 3 et 4.

Légende : Effet

Négatif	Neutre	Légèrement positif		Positif		Très positif
-1	0	1	2	3	4	5

Tableau 5.1 - Résultats de l'analyse multicritère pour la stratégie de ralentissement de la boucle des ressources

Stratégie de ralentissement de la boucle des ressources					
Pilier circulaire	Actions	Acteurs	Effet de l'action circulaire	Réduction de la fréquence de remplacement des TI (en mois)	Réduction du taux d'extraction des ressources naturelles non renouvelables, utilisées pour la production des TI
Écoconception	Durabilité	Fabricants de TI et de logiciels	Prolongation de la durée de vie des TI	4	4
	Réparabilité				
	Reconditionnement				
	Évolutivité				
	Compatibilité logicielle				
Allongement de la durée de vie	Réemploi	Consommateurs	Prolongation de la durée d'usage des TI	3	3
	Réparation	Consommateurs, entreprises de réparation		5	5
	Réutilisation	Consommateurs, fabricants, entreprises de reconditionnement		2	2
Consommation responsable	Achat responsable	Consommateurs	Réduction de la consommation	5	5
	Utilisation responsable	Consommateurs	Prolongation de la durée de vie des TI	1	1

Tableau 5.2 - Résultats de l'analyse multicritère pour la stratégie de fermeture de la boucle des ressources

Stratégie de fermeture de la boucle des ressources					
Pilier circulaire	Critères/actions	Acteurs	Effet de l'action circulaire	Augmentation du taux de recyclage en boucle fermée des TI (%)	Réduction du taux d'extraction des ressources naturelles non renouvelables, utilisées pour la production des TI
Écoconception	Choix des matériaux	Fabricants	Augmentation de l'utilisation de matériaux recyclés utilisés dans la fabrication et augmentation de l'utilisation de matériaux plus recyclables	5	4
	Recyclabilité		Augmentation de la facilité des TI à être recyclés	3	2
Recyclage	Améliorer les technologies de recyclage	Établissements recyclage DEEE	Augmentation du pourcentage de matériaux recyclés	3	2
	Programme de collecte des TI	Acteurs de la collecte (programme de collecte, fabricants, indépendant)	Augmentation de la collecte des TI	2	1
	Comportement des utilisateurs en fin de vie de leur TI	Consommateurs	Augmentation de la collecte des TI	4	3

Toutes les actions présentées dans l'analyse ont un effet positif sur la réduction du taux d'extraction de ressources naturelles pour la production des TI, mais à différents degrés.

En effet, les résultats montrent que la production des TI est intimement liée à la demande des consommateurs. Lorsque les consommateurs achètent moins fréquemment un nouveau TI, la demande pour les nouveaux appareils baisse. Lorsque la demande baisse pour les nouveaux TI, les ventes baissent et la production des TI baisse également. Une réduction de la production d'appareils résulte en une diminution de l'extraction des ressources naturelles puisqu'une baisse de production entraîne du même coup une baisse de la demande pour les ressources naturelles. (MegaEssays, 2016; Yang, 2019) En somme, la prolongation de la durée de vie et d'usage des TI ainsi qu'une réduction de la consommation permettent de réduire la fréquence de remplacement.

Pour la stratégie de fermeture de boucle des ressources, une augmentation du taux de recyclage des TI en boucle fermée signifie que l'utilisation de matières vierge est réduite. Leur utilisation est réduite, car les matériaux recyclés leur substituent (EMF, 2013). Les actions les plus bénéfiques pour augmenter le recyclage des TI est donc d'augmenter le taux de collecte en fin de vie et d'améliorer la conception pour le recyclage et l'utilisation de technique de recyclage moderne (Reck et Graedel, 2012).

Vu le très grand volume de TI produits, un allongement de quelques mois sur la durée du cycle de remplacement et l'augmentation du recyclage en boucle fermée auront un impact non négligeable sur les besoins en ressources vierges nécessaires à leur fabrication. Les deux effets des stratégies permettent de réduire le taux d'extraction des ressources naturelles non renouvelables. Une réduction du taux d'extraction a provoqué une réduction directe sur l'épuisement des ressources, puisque l'épuisement prend en compte celui-ci. Ces résultats permettent de répondre à l'objectif de l'essai et d'affirmer que les actions de l'ÉC permettent de réduire l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables causé par la production des TI. Les résultats permettent également de voir l'importance de chaque action sur la réduction du taux d'extraction et permettront par la suite de prioriser les actions menant à un plus grand gain sur l'impact d'épuisement des ressources.

5.1.1 Justifications des pointages accordés

Comme vu dans le chapitre 4, les actions circulaires de la stratégie de ralentissement des ressources permettent d'allonger la durée de vie et d'utilisation des TI, ce qui allonge le cycle de remplacement des TI et par le fait même réduit la fréquence de remplacement par les consommateurs.

Pour la stratégie de ralentissement de boucle, la cote pour la variable de réduction de l'extraction des ressources naturelles est la même que celle de la réduction de la fréquence de remplacement, car la production influence grandement l'utilisation des ressources. Cependant, pour la stratégie de fermeture de boucle, la cote sera d'un point moins élevée que celle de l'augmentation du taux recyclage des TI en boucle fermée. Deux raisons justifient cette décision. Premièrement, en se basant sur le pouvoir de la boucle courte de l'économie circulaire vu dans la section 4.4.1, les actions qui permettent de conserver le plus de valeur initiale d'un produit sont tout d'abord le réemploi, suivie par la réparation, la réutilisation et finalement le recyclage. Cette justification sera également utilisée pour distinguer la cotation entre ses actions. Deuxièmement, dans une analyse de cycle de vie de 4 scénarios sur 3 paramètres, comprenant l'épuisement de métaux, les résultats indiquaient une réduction significativement plus importante de l'épuisement des métaux, pour la stratégie d'allongement de la boucle des ressources comparativement à celle de fermeture de boucle (Güvendik, 2014).

- **Actions combinées de l'écoconception : durabilité, séparabilité, reconditionnement, évolutivité, comptabilité logicielle :** Les effets des actions de l'écoconception sont combinés pour cette stratégie, car elles ont toutes le même effet. Une cote de 4 points est attribuée à l'écoconception pour la réduction de la fréquence de remplacement, car elle constitue le pilier de l'ÉC qui permet d'augmenter le plus la durée de vie de l'appareil. De plus, comme vu dans la section 4.4.1, la majorité des impacts environnementaux peuvent être évités dès la conception d'un produit (Graedel et Allenby, 1995; Ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec [MEIQ], 2019). La cote de 5 n'est pas attribuée à cette action, car même pour le meilleur TI écoconçu, c'est le consommateur qui a toujours le dernier mot lorsqu'il change d'appareil, autrement dit le client a toujours raison. (Bocken et al., 2016; EMF, 2017,2018)
- **Réemploi :** Une cote de 3 points est attribuée au réemploi pour la réduction de la fréquence de remplacement. Cette cote est attribuée au réemploi, car le réemploi d'un TI usagé lui donne une 2^e vie et peut permettre à un autre utilisateur d'éviter d'acheter un appareil neuf. La cote de 5 n'est pas attribuée, car il est possible que le 2^e utilisateur n'ait pas les moyens d'acheter un TI neuf et donc que le réemploi ait un effet moins grand sur la production de nouveaux appareils. Le réemploi peut également dans certains cas causer un effet rebond tel que vu dans la section 4.3.
- **Réparation :** Une cote de 5 points est attribuée à la réparation pour la réduction de la fréquence de remplacement, car c'est la boucle de service qui permet de garder le plus la valeur initiale de l'appareil. En effet, elle permet d'allonger grandement la durée du cycle de remplacement, car la réparation d'un TI augmente significativement sa durée de vie et peut éviter à son utilisateur d'en acheter un nouveau. (ADEME, 2016a)

- **Réutilisation** : Une cote de 2 points est attribuée à l'effet de la réutilisation sur la réduction de la fréquence de remplacement des TI, car elle est à un niveau au-dessous du réemploi en ce qui concerne la conservation de la valeur initiale du bien, selon les notions d'ÉC. La conservation de valeur se base sur le pouvoir du fonctionnement en cascade. Lorsque les anciens TI sont reconditionnés et remis sur le marché, ils permettent à des consommateurs d'éviter d'acheter des appareils neufs. Les composants récupérés peuvent également être utilisés pour réparation ou pour leur matériau. (EMF, 2018,2019)
- **Achat responsable**: Une cote de 5 points est accordée à l'effet de l'achat responsable sur la réduction de la fréquence de remplacement des TI. Cette cote maximale est attribuée, car le consommateur a le rôle le plus important à jouer dans la décision de l'achat de nouvel appareil. En étant mieux informé sur les impacts de la fabrication des TI et sur les options d'achat d'appareil usagé, il peut directement réduire sa fréquence de remplacement de TI. Par exemple, l'écoétiquetage de la durée de vie des produits à lui seul entraîne en moyenne des ventes de 56% pour ceux-ci (Blandin, 2016). (Équiterre, 2018; ADEME, 2016a)
- **Utilisation responsable**: Une cote de seulement 1 point est attribuée à l'utilisation responsable pour la réduction de la fréquence de remplacement des TI, car de bonnes pratiques d'utilisation et une protection de l'appareil permettent d'allonger la durée de vie de l'appareil, mais leurs effets sont moins importants que les autres actions circulaires. Il est toujours possible de réparer l'appareil en cas de bris ou de changer la batterie lorsque celle-ci est moins performante. (EMF, 2015; Équiterre, 2018)

Stratégie de fermeture de la boucle des ressources

- **Choix des matériaux** : Une cote de 5 points est accordée au choix des matériaux, car l'utilisation de matériaux recyclables et recyclés dans la fabrication des TI est primordiale dans une stratégie de circularité. Cette action de l'écoconception permet de recycler plus de matériaux en fin de vie et d'utiliser une plus grande quantité de matériaux recyclés dans les nouveaux appareils. (Bocken et al., 2016; EMF, 2017,2018; O'Connor et al., 2016)
- **Recyclabilité** : Une cote de 3 points est accordée à la recyclabilité des TI pour augmenter le taux de recyclage des TI. En plus du choix des matériaux, la conception pour faciliter la recyclabilité des appareils joue un rôle important lors des processus de recyclage. Plus l'appareil est facilement recyclable, plus la quantité de matériaux recyclés sera grande. (Bocken et al., 2016; EMF, 2017,2018; O'Connor et al., 2016)

- **Technologie de recyclage** : Une cote de 3 points est accordée aux choix des technologies de recyclage pour l'augmentation du taux de recyclage des TI. Comme vu dans les sections 3.7 et 4.6.2, le choix des techniques de recyclage joue un rôle important dans la quantité de matériaux recyclés pour les TI. Des technologies ou techniques de recyclage permettant de recycler un plus grand pourcentage de matériaux augmenteront les ressources remises en boucle. Cependant, il existe des limites au recyclage des matériaux, entre autres la thermodynamique et la séparation. Il ne sera donc jamais possible de recycler un appareil à 100% (Reuter et al., 2018; Reck et Graedel, 2012; EMF, 2018; O'Connor et al., 2016).
- **Programmes de collecte des TI** : Une cote de 2 points est attribuée aux programmes de collectes des TI pour l'augmentation du taux de recyclage des TI. Les programmes officiels de collecte des TI au Québec et Canada ainsi que les programmes d'échange d'appareil par les fabricants, compagnies de service téléphonique et indépendant permettent de collecter d'importantes quantités de TI en fin de vie. Cependant, même si plusieurs de ces programmes sont mis en place, de nombreux utilisateurs ne sont pas au courant de leur existence et comme vu dans la section 3.4.1, environ la moitié des utilisateurs conservent leur TI en fin de vie pour différentes raisons. (Nanos Research, 2018)
- **Comportement des utilisateurs en fin de vie de leur TI**: Une cote de 4 points est accordée pour cette action afin d'augmenter le taux de recyclage des TI. Puisqu'environ la moitié des utilisateurs conservent leur TI en fin de vie, il est primordial de changer ce comportement afin que ceux-ci recyclent leur appareil. Éduquer et informer les utilisateurs sur la nécessité de remettre en boucle les ressources et des options possibles de collecte des TI permettrait d'augmenter considérablement le taux de recyclage des TI. (Équiterre, 2018; EMF, 2018)

5.1.2 Scénario actuel vs scénario de cycle de vie circulaire allongé

Cette sous-section compare le scénario actuel, qui représente le contexte actuel des TI dans une économie circulaire et un scénario de cycle de vie circulaire allongé, qui représente une combinaison des deux stratégies de boucle de ressources présentées dans l'essai.

Comme vu au chapitre 3, la durée de remplacement des TI varie beaucoup selon les références et les pays. Pour le scénario actuel, une fréquence de 2 ans sera utilisée. Trois paramètres sont importants pour augmenter le recyclage des TI en boucle fermée. Tout d'abord, il faut collecter les anciens TI, par la suite ceux-ci doivent être recyclés et lors de la production de nouvel appareil des matériaux recyclés doivent être utilisés. Pour ce qui est de la collecte, comme vu à la section 3.5, le taux de collecte pour les TI n'est pas accessible pour le Québec. Cependant, l'objectif de collecte pour les TI est de 25% en 2020 et augmentera

de 5% par année jusqu'à 65% (RECYC-QUÉBEC, 2019). En se fiant aux données mondiales pour le recyclage des DEEE, seulement 20% sont officiellement collectés (Baldé et al., 2017).

Tel que vu dans la section 4.6.2, le maximum de matériaux qu'il est possible de récupérer pour les téléphones modulaires est de 31% (Reuter et al., 2018). Peu de données sont disponibles au sujet du pourcentage de matériaux recyclés utilisés dans la fabrication de nouveaux TI. Cependant, en septembre 2019, Apple a publié le rapport environnemental de son tout dernier iPhone 11. Des progrès concernant les matériaux recyclés ont été réalisés dans la fabrication de ce modèle. En effet, deux composants, soit la carte logique et le moteur haptique, sont constitués respectivement de 100% d'étain recyclé et 100% de terres rares recyclées (TR). Le moteur haptique représente environ 25% du total des TR dans l'appareil. Dans un scénario de boucle circulaire allongée, les % des trois paramètres seraient augmentés. (Apple, 2019b)

Il est difficile de quantifier les gains de chacune des actions, en termes de réduction de fréquence de remplacement et d'augmentation de matériaux recyclés, car elles utilisent plusieurs actions et touchent plusieurs acteurs. Toutefois, il est certain qu'un scénario de cycle de vie circulaire allongé permettrait de réduire l'épuisement des ressources naturelles substantiellement (EMF, 2013). La figure 5.1 est une schématisation de la boucle circulaire allongée. Elle permet de voir l'intégration des actions circulaires présentées dans les deux stratégies de ressources dans une perspective de cycle de vie.

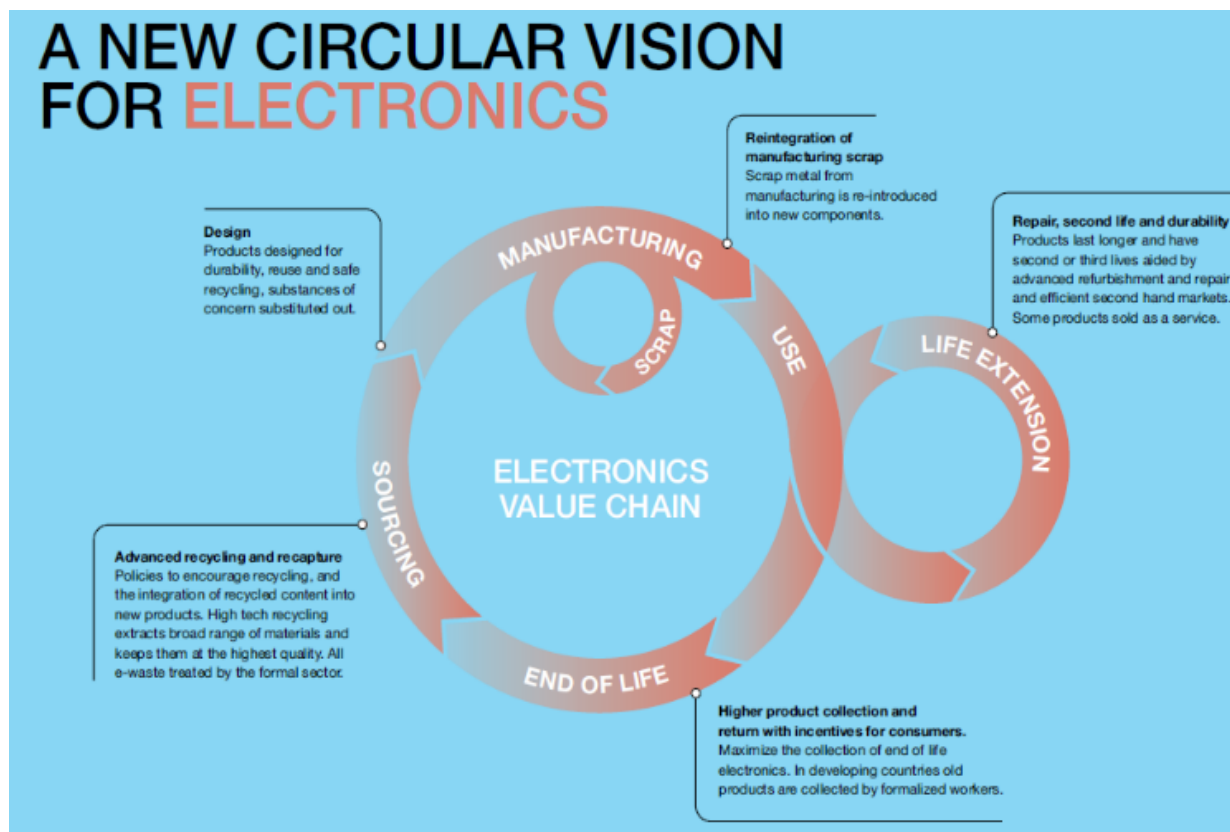


Figure 5.1 - Une nouvelle vision circulaire pour les électroniques (tiré de : PACE, 2019)

Pour avoir un aperçu de la réduction possible, une ACV a comparé différents scénarios. Dans cet ACV basée sur 4 scénarios utilisant le Fairphone, TI modulaires écoconçu, un scénario comparable au scénario de cycle de vie circulaire allongé a été utilisé. Ce scénario comprenait la réparation, une utilisation prolongée de 6 ans de l'appareil, la réutilisation des composants fonctionnels et le recyclage des matériaux. Les résultats ont montré que ce scénario permettait de réduire l'épuisement de métaux de 61%, comparativement au scénario où le Fairphone était remplacé aux 2 ans, donc trois fois sur la même période de 6 ans. L'épuisement des métaux comprenait le taux d'extraction et les réserves de métaux, quantifié en kg fer (Fe) eq et était respectivement de 3,8 Fe eq et 9,8 kg Fe eq pour les deux scénarios (Güvendik, 2014). La figure 5.2 représente le scénario actuel et de cycle de vie circulaire allongé.

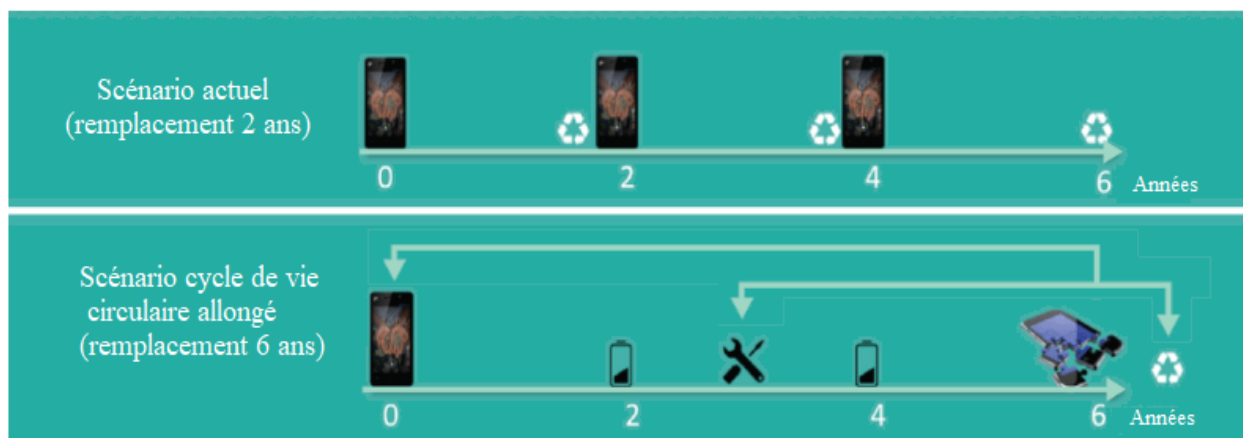


Figure 5.2 - Représentation du scénario actuel et du scénario de boucle circulaire allongée (tiré et traduction libre de : Güvendik, 2014)

La comparaison des deux scénarios a permis de confirmer que les effets des actions circulaires des deux stratégies de boucle de ressource ont un effet considérable sur la réduction de l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables causé par la production des TI.

5.1.3 Discussion

Cet essai se limitait aux actions de l'ÉC pour répondre à son objectif de réduire l'épuisement des ressources naturelles causé par la fabrication des TI. À la suite de la revue de littérature, deux éléments sont ressortis comme indispensables pour la mise en place de l'ÉC. Le premier élément est l'implication des autorités politiques à plusieurs niveaux et le deuxième est le changement de modèle d'affaire des fabricants de TI. Des exemples seront donnés pour ces deux éléments afin de montrer comment ils peuvent aider l'implantation de l'ÉC.

Autorités politiques : comme vu à la section 3.9, plusieurs mesures législatives mises en place au Québec et au Canada touchent entre autres la gestion des DEEE, l'obsolescence des produits et leur garantie légale. Pour certains produits, les fabricants sont déjà obligés de garder pour plusieurs années des pièces de rechange pour la réparation. Les gouvernements provinciaux québécois et fédéral, outre la réglementation, possèdent d'autres outils comme la fiscalité et d'autres leviers pour stimuler l'ÉC. Le tableau 5.3 présente différents à la disposition des gouvernements pour stimuler l'ÉC.

Tableau 5.3 – Différents leviers à la disposition des gouvernements pour stimuler l'ÉC (tiré de : Conseil du patronat du Québec [CPQ], Conseil Patronal de l'Environnement du Québec [CPEQ] et Éco Entreprises Québec [EEQ], 2018)

Réglementation	Règlementation de fin de vie	Gestion des matières résiduelles	<ul style="list-style-type: none"> ▶ À l'aide de l'approche du cycle de vie ▶ Interdiction des lieux d'enfouissement ou d'incinération ▶ Interdiction d'exportation de matières résiduelles
		Efficacité des ressources	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Réutilisation et recyclage ▶ Traitement des matières biodégradables ▶ Élimination/réduction des engrais chimiques ▶ Gestion de l'eau ▶ Responsabilité élargie des producteurs (REP)
	Gestion environnementale	Production industrielle	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Amélioration des processus, des produits et des services
		Substances dangereuses	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Réduction de l'utilisation ▶ Accroissement du contrôle
		Ressources renouvelables	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Augmentation des sources d'énergies renouvelables ▶ Efficacité énergétique
	Standards	Écoconception	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fixation d'exigences minimales
		Étiquetage	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Validation de l'origine des produits
		Normes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Garantie de qualité minimale
	Politiques d'achat	Approvisionnement gouvernemental	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Achats basés sur une politique d'approvisionnement responsable, ou vert, par les instances gouvernementales
Fiscalité	Mesures fiscales	Gestion des matières résiduelles	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Responsabilité élargie des producteurs (REP) ▶ Responsabilité élargie du consommateur ▶ Marché du carbone
		Taxation	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Taxe à l'enfouissement ▶ Écofiscalité (ex. taxation des ressources non renouvelables)
Appui gouvernemental	Soutien et financement	Information	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Identification des meilleures pratiques ▶ Sensibilisation auprès des parties prenantes
		Financement	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Financement direct ▶ Aide à la recherche de financement ▶ Soutien à la recherche et au développement ▶ Bourses de matières résiduelles

Parmi ces différents leviers, les plus pertinents pour les deux stratégies des ressources présentées pour les TI sont : la réglementation au niveau de la gestion de matière résiduelle, de l'efficacité des ressources, de l'écoconception, des normes ; des mesures fiscales au niveau de la gestion des matières résiduelles et finalement le soutien et financement du gouvernement pour informer les consommateurs et financer les programmes de collecte et l'industrie de recyclage de DEEE.

Voici quelques exemples plus concrets concernant la manière dont les autorités politiques peuvent allonger la durée de vie des TI et remettre en boucle les ressources.

- Bannir l'enfouissement des DEEE au Québec. Ceci permettrait de réduire l'enfouissement des TI et d'augmenter leur collecte. (Kumar et Holuszko, 2016)
- Exiger l'affichage environnemental et l'allongement de la durée de vie des TI. (Équiterre, 2018)
- Prolonger la durée de garantie du fabricant en fonction de la durée de vie du TI de 1-2 ans à 4 ans. (Équiterre, 2018; Blandin, 2016; ADEME, 2016a)
- Imposer aux fabricants de conserver les outils et pièces nécessaires à la réparation des appareils pour un minimum de 10 ans et aux concepteurs de logiciels d'assurer la maintenance pendant un minimum de 10 ans. (Équiterre, 2018)
- Fixer des exigences minimales entre le Canada et les États-Unis pour les fabricants de TI en termes d'écoconception pour les TI. Les pressions de l'Amérique du Nord unie auront plus d'impact que si ce sont, par exemple, seulement quelques provinces qui font pression ou seulement le Canada.
- De nouvelles motivations financières et politiques de la part des gouvernements pour l'industrie du recyclage, de même que les « leaders » du secteur privé (PACE, 2019).

Modèle d'affaires : il est essentiel que les fabricants changent de modèle d'affaire pour adopter celui de l'ÉC. En effet, les actions circulaires présentées au chapitre 4 et dans l'analyse requièrent de l'engagement, de la volonté et des efforts de la part des fabricants. La transition d'un modèle linéaire à un modèle circulaire peut apporter plusieurs défis que les compagnies doivent relever. Pour réaliser les deux stratégies de boucle de ressource présentées dans l'essai, deux stratégies de modèle d'affaires peuvent être utilisées pour ralentir la boucle des ressources, soit l'extension de la valeur des produits et le modèle classique de longue durée de vie. L'extension de la valeur des produits exploite la valeur résiduelle des produits du fabricant au consommateur et de retour au fabricant ou la collection de produits entre différentes entreprises. Le modèle classique de longue durée de vie représente un modèle d'affaires pour produire des produits à longue durée de vie soutenus par la conception, par exemple la durabilité et la réparation (Green Alliance, 2015).

Pour la fermeture de boucle des ressources, la stratégie de modèle d'affaire à utiliser est l'extension de la valeur des ressources, c'est-à-dire d'exploiter la valeur résiduelle des ressources : collecte de matériaux ou ressources qui seraient autrement jetés pour les transformer en des nouvelles formes de valeur. (Bocken et al., 2016; EMF, 2018)

Certains de ces éléments sont présentés dans le cadre de l'essai. Les plus importants fabricants de TI comme Apple et Samsung font actuellement des efforts majeurs liés à ces trois approches et changent de modèle

d'affaires graduellement. On peut citer à titre d'exemple l'utilisation de matériaux recyclés dans la fabrication de nouvel appareil, l'utilisation de matériaux recyclables, l'emballage responsable, l'utilisation d'énergie renouvelable, l'usage de moins de matériaux toxiques, les programmes d'échange d'appareil qui leur permettent de réemployer, réutiliser ou recycler les composants, la prise de responsabilité de chaque étape du cycle de vie des TI, etc. (ARPE, 2018; Samsung, 2018,2019)

Le modèle d'affaire des fournisseurs de téléphonie mobile au Québec est un cas frappant de modèle qui accélère la fréquence de remplacement des TI. Au Québec, la majorité des forfaits de téléphones mobiles consistent en une association entre l'appareil et un abonnement avec engagement (Fido Solution, 2019; Bell Canada, 2019; Koodo Mobile, 2019). Ceci entraîne un remplacement d'appareil plus fréquent par le consommateur. Lorsque le contrat, qui dure généralement 2 ans, se termine, le consommateur peut changer d'appareil, qui est le plus souvent « subventionné ». L'abonnement avec contrat permet au consommateur d'acquérir un appareil à moindre coût.

Ceci démontre deux problématiques : tout d'abord, le consommateur n'a aucune idée du prix réel qu'il va payer pour son appareil à travers son forfait ; ensuite, le contrat de téléphonie est lié à l'appareil. Pour régler cette problématique et prolonger la durée du cycle de remplacement des TI, le prix que le consommateur paie pour son TI à travers son contrat devrait obligatoirement être indiqué et les abonnements sans appareil devraient être favorisés. (Blandin, 2016; Green Alliance, 2016; Équiterre, 2018)

En France, la situation était similaire il y a quelques années, mais le marché a évolué. L'opérateur Free Mobile a privilégié le modèle d'affaire dans lequel l'appareil et le service téléphonique sont séparés et a complètement changé le portrait. En 2011, les offres incluant un téléphone « subventionné » représentaient 90% du marché et ont baissé à 35% en 2016. (Blandin, 2016)

Cette section a permis de voir l'importance des autorités politiques et des modèles d'affaires des entreprises de l'industrie des TI pour la mise en place et le succès des stratégies d'allongement et de fermeture de boucle des ressources.

6. RECOMMANDATIONS

La majorité des actions de l'ÉC ou propositions présentées aux chapitres 3, 4 et 5 ainsi que les recommandations de ce chapitre s'appliquent au Québec, mais restent générales. Elles peuvent donc également s'appliquer à l'étranger. Cependant, les actions et recommandations concernant les fabricants de TI sont spécifiques à l'échelle internationale, car, comme vu à la section 2.2.1, leur fabrication et leur conception se font dans plusieurs pays à l'extérieur du Canada. Les recommandations ont pour but d'assurer la mise en place des actions de l'ÉC ou la réduction de l'épuisement des ressources naturelles causé par la production des TI.

Plusieurs pistes de solution sont proposées de manière plus détaillée aux chapitres 4 et 5 pour chaque action circulaire. Ce chapitre sera divisé en trois sections selon les acteurs concernés, soit les consommateurs, les entreprises de l'industrie des TI et les autorités politiques. Les recommandations ont pour but d'atteindre l'objectif des deux stratégies de ressources de boucle, soit réduire la fréquence de remplacement et augmenter le recyclage des TI. Comme vu à la section 3.2.4, une vague de remplacement de TI est à venir, avec l'arrivée du nouveau réseau G5, car seuls les modèles plus récents seront compatibles avec ce réseau. Plus tôt les recommandations seront réalisées, plus il y aura des gains sur le plan de la réduction de l'extraction des ressources naturelles pour la fabrication des TI.

6.1 Sensibilisation des citoyens-consommateurs

Cette section sera divisée en deux parties. La première partie des recommandations concerne l'information au sujet de la durée d'utilisation des TI relativement à l'obsolescence, tandis que la deuxième partie concerne l'information visant à assurer le recyclage des TI par les consommateurs. Il est recommandé que les différents types de consommateur, avertis, attentiste et novices soient pris en compte dans les choix des messages transmis. L'information transmise et la sensibilisation réalisée envers les consommateurs sont des tâches qui peuvent être réalisées par des organismes, entreprises ou le gouvernement. (Équiterre, 2018) L'information communiquée aux consommateurs a comme objectif de changer leurs comportements en ce qui concerne l'achat, la durée d'utilisation et la fin de vie des TI.

Durée d'utilisation :

1. **Informers les consommateurs de leurs rôles à jouer dans l'obsolescence relative.** En prenant conscience de leur importance dans la durée de vie de leur TI, les consommateurs peuvent allonger leur durée d'utilisation, ce qui permet d'éviter le remplacement rapide. À titre d'exemple, l'information peut être transmise par le biais de campagnes publicitaires. (Chaire Mines Urbaines [CMU], 2018; Équiterre, 2018)

2. **Sensibiliser les consommateurs au sujet des impacts de la production des TI.** L'information peut être transmise par exemple par l'écoétiquetage des appareils ou par des campagnes publicitaires. Les consommateurs conscientisés peuvent ainsi réduire la fréquence à laquelle ils changent d'appareil ou simplement conserver leur appareil plus longtemps. (Blandin, 2016; Güvendik, 2014; ADEME, 2016a)
3. **Promouvoir le réemploi, la réparation et la réutilisation des TI.** Les consommateurs informés des actions alternatives peuvent les utiliser et ainsi réduire l'achat de nouveaux appareils.

Plus de détails sont disponibles à la section 4.2.5 et au tableau 4.2 sur l'information à transmettre aux consommateurs pour changer leurs comportements face à l'achat et l'utilisation des TI.

Recyclage :

4. **Améliorer l'information transmise aux consommateurs pour augmenter la collecte des TI usagés.** Afin d'éviter que les consommateurs adoptent le comportement consistant à conserver leurs TI en fin de vie, de la sensibilisation sur l'importance du recyclage et sur les options de récolte possibles devrait être faite. Plus d'information est disponible à la section 4.6.4.

6.2 Entreprises de l'industrie du TI

Les acteurs inclus dans l'industrie du TI touchés par les recommandations sont les fabricants d'appareils et de logiciels ainsi que les compagnies de service de téléphonie mobile. Les recommandations visant ces acteurs ont principalement comme objectif d'allonger la durée de vie et d'utilisation des TI. Les recommandations des fabricants doivent être formulées à l'extérieur du Québec et du Canada, car la conception est faite dans d'autres pays.

5. **Encourager les fabricants à inclure les critères d'écoconception lors de la conception de leurs modèles de TI.** Ceci pourra réduire leurs impacts environnementaux à toutes les étapes de leur cycle de vie. Les critères d'écoconception des tableaux 4.1 et 4.3 permettent d'augmenter la durée de vie des TI et leur recyclage. (Blandin, 2016; EMF, 2018; CMU, 2018; ADEME, 2016a)
6. **Mettre en place un écoétiquetage/ l'affichage environnemental des TI.** Les étiquettes devraient indiquer la durée de vie moyenne de l'appareil, une cote de séparabilité et pourrait également indiquer la composition des TI. Cet étiquetage permettra aux consommateurs de faire un choix plus éclairé lors de leur achat et de prendre en compte la durabilité et séparabilité des modèles et son impact environnemental. L'étiquetage de la durée de vie moyenne des produits entraîne notamment

une importante augmentation de la vente des produits à longue durée de vie. (Équiterre, 2018; ADEME, 2016a; Blandin, 2016)

7. **Encourager les entreprises de téléphonie mobile présentes au Québec à changer leur modèle d'affaires.** Comme vu à la section 5.1.5, le modèle d'affaires actuel des forfaits téléphoniques, avec contrat de deux ans, encourage les consommateurs à changer d'appareil en même temps que leur renouvellement de contrat. Il est recommandé de dissocier les abonnements des appareils mobiles afin d'augmenter leur durée d'utilisation. (Blandin, 2016)

6.3 Autorités politiques

Comme mentionné à la section 5.1.5, les autorités politiques ont un rôle important à jouer, à plusieurs niveaux, dans la mise en place des actions de l'ÉC proposées dans cet essai. Le tableau 5.3 présente de la réglementation, des mesures de fiscalité et d'autres leviers pour stimuler l'ÉC. En lien avec l'objectif des stratégies d'ÉC de l'essai pour réduire la fréquence de remplacement et le taux de recyclage des TI, les recommandations pourraient être synthétisées ainsi :

8. **Favoriser la réparation, le réemploi et promouvoir le recyclage.** Le gouvernement peut inciter à adopter ces actions de l'ÉC, par exemple par des incitations économiques ou en soutenant financièrement le secteur de la réparation et recyclage des TI. L'appui financier du gouvernement peut prendre la forme de subvention ou de crédit d'impôt. (ADEME, 2016a; CPQ et al., 2018)
9. **Lancer une campagne publicitaire provinciale afin de promouvoir les programmes de collecte de Recycle mon cell et de l'ARPE.** Tel que vu à la section 3.5, le système de collecte pour les TI en fin de vie au Québec est déjà bien établi. Plusieurs points de collecte de programmes de recyclage officiel, par des entreprises indépendantes ainsi que les programmes d'échange de TI permettent de recycler un grand nombre d'appareils. Puisque près de la moitié des consommateurs conservent leur téléphone et seulement 2% des Canadiens sont au courant du programme officiel national Recycle mon cell, il est primordial de le faire connaître afin que les consommateurs l'utilisent et recycle leur TI (Nanos Research, 2018).
10. **Assurer la mise en place de meilleurs outils législatifs en matière d'obsolescence.** Comme vu à la section 3,7 des mesures législatives contre l'obsolescence sont déjà en cours au Québec. Cependant, beaucoup plus peut être fait pour les TI et autres biens électroniques. Par exemple, le gouvernement devrait exiger l'affichage environnemental/écoétiquetage des TI ainsi que des critères minimaux en termes d'écoconception pour allonger la durée de vie des TI. (Équiterre, 2018; Blandin, 2016; ADEME, 2016a)

CONCLUSION

Pour conclure, la réduction des prix des TI permet à un plus grand nombre de consommateurs de se procurer un appareil. La production annuelle des TI avoisine les 1,5 milliard d'appareils. En 10 ans, entre 2009 et 2019, plus de 11 milliards d'appareils ont été produits. La production de TI requiert une plus grande diversité de matériaux que leurs prédécesseurs, les téléphones mobiles simples. Entre 70-80% des impacts environnementaux de la production des TI sont générés à la phase de fabrication. L'extraction des ressources naturelles pour la fabrication des TI, en particulier les TR, cause la majorité des impacts de la phase de fabrication. De petites quantités de ressources sont nécessaires à la fabrication d'un appareil ; cependant, lorsqu'on multiplie la quantité de matériaux par le nombre d'appareils à l'échelle mondiale, les quantités de ressources nécessaires sont importantes.

Les consommateurs remplacent fréquemment leur TI, à chaque 2 ans environ. Ce remplacement fréquent augmente les impacts de toutes les étapes du cycle de la vie de l'appareil, car un plus grand nombre est produit. Outre la fréquence de remplacement élevée, le comportement des consommateurs consistant à conserver leur TI en fin de vie ne permet pas de collecter et de recycler ces appareils. Une production aussi importante de TI n'est pas soutenable à long terme dans le contexte économique linéaire actuel.

L'objectif de l'essai était de déterminer si certaines actions de l'ÉC, dans une stratégie de ralentissement et de fermeture de boucle des ressources, permettaient de réduire l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables causé par la production des TI. Pour ce faire, une revue de littérature a été effectuée afin de brosser le portrait mondial et québécois des TI. Par la suite, une analyse multicritère a été réalisée pour évaluer l'effet des deux stratégies des ressources, ce qui a permis de répondre à l'objectif de l'essai.

Le chapitre 2 a présenté des notions théoriques du cycle de vie et une description des éléments présents dans celle du TI. La fin du chapitre a exposé un regroupement d'analyses des cycles de vie des TI. Les résultats des ACV ont été unanimes : la phase de fabrication occasionne le plus d'impacts environnementaux.

Le chapitre 3 a présenté plusieurs informations nécessaires à la compréhension du portrait mondial et québécois des TI. Tout d'abord, le contexte économique linéaire actuel pour la production de biens, y compris celle des TI, est caractérisé par le concept « extraire, fabriquer, jeter ». Ensuite, la durée du cycle de remplacement des TI était historiquement d'environ 2 ans, mais semble naturellement s'allonger en raison de plusieurs facteurs, entre autres le ralentissement du progrès technologique et la durabilité des TI. L'arrivée du nouveau réseau 5G créera une vague de remplacement de TI : en effet, ceux-ci seront remplacés par des appareils compatibles. En outre, la notion d'obsolescence et ses différentes déclinaisons ont été expliquées. L'obsolescence est la cause première d'une durée de vie ou d'usage raccourcie des TI. De plus,

les programmes de collecte et de recyclage au Québec et au Canada ont été survolés. La fin du chapitre traite de la gestion en fin de vie des appareils et de la législation sur la gestion des DEEE ainsi que des garanties légales des produits au Québec.

Le chapitre 4 a expliqué les raisons pour lesquelles il est nécessaire de changer de modèle économique. Par la suite, le concept, les principes et les piliers de l'ÉC ont été présentés. Les actions circulaires pour les deux stratégies de ralentissement et de fermeture de ressources ont été décrites. L'objectif de la stratégie de ralentissement des ressources est d'augmenter la durée de vie et d'utilisation des TI, tandis que celui de la stratégie de fermeture de boucle est d'augmenter le recyclage des TI.

Le chapitre 5 a présenté une analyse multicritère des deux stratégies de ressources afin d'évaluer leur effet sur la fréquence de remplacement des TI pour la stratégie de ralentissement et sur le recyclage des TI en boucle fermée, pour la stratégie de fermeture de ressource. Les actions des deux stratégies permettent à différents niveaux (intensité) d'allonger la durée du cycle de remplacement des TI par les consommateurs et d'augmenter le recyclage de ceux-ci. Une réduction du nombre de TI produits, en diminuant leurs fréquences de remplacement, ainsi que l'augmentation du recyclage des TI permettent une réduction de l'épuisement des ressources naturelles causé par la fabrication des TI. Un scénario actuel a été comparé avec un scénario circulaire allongé, ce qui a permis de constater que d'importantes réductions sur l'extraction des ressources seraient réalisées. Dans la discussion, le rôle des autorités politiques et le modèle d'affaires des entreprises ont été soulevés pour l'implantation des actions de l'ÉC.

Dans le dernier chapitre, diverses recommandations ont été formulées. Le chapitre est divisé en trois sections, en fonction des acteurs concernés, consommateurs, entreprises et autorités politiques. Le rôle crucial du consommateur en ce qui concerne la fréquence de remplacement et le recyclage a été souligné. Il a notamment été recommandé d'informer et sensibiliser les consommateurs pour réduire l'obsolescence psychologique et changer leur comportement par rapport à leurs appareils en fin de vie afin de les recycler. Les recommandations les plus importantes pour l'industrie des TI sont d'inclure les critères d'écoconception dès la conception des appareils et que les appareils mobiles soient séparés des abonnements. Les autorités politiques, quant à elles, peuvent jouer un rôle clé dans la mise en place des actions de l'ÉC.

La portée de cet essai s'est limitée à l'extraction des ressources, car la majorité des impacts de la phase de la fabrication proviennent de l'extraction. En produisant moins d'appareils, plusieurs impacts environnementaux, associés à toutes les étapes du cycle de vie, par exemple le changement climatique ou la toxicité humaine, seront également réduits. En recyclant davantage les TI, ceux-ci sont détournés des sites d'enfouissement et les impacts causés par les DEEE sont aussi réduits.

Un nouveau modèle d'affaires qui n'a pas été abordé dans l'essai, mais qui permet une meilleure circularité des ressources et une durée de vie plus longue des appareils, est l'économie de fonctionnalité, qui se caractérise par un scénario où le TI reste la propriété du fabricant et où le consommateur loue l'appareil. Il s'agirait d'un modèle d'affaire à explorer. Il pourrait être intéressant dans le futur d'évaluer les bénéfices de ce pilier de l'ÉC dans le contexte des TI. Ce modèle permettrait aux fabricants de récupérer directement les TI à la fin des contrats de location et ainsi, recycler les composants et matériaux dans de nouveaux appareils.

Cet essai a permis de voir qu'il y a des gains à faire concernant la réduction de l'épuisement des ressources dans l'industrie du TI, mais les bienfaits ne s'arrêtent pas là : en effet, la transition vers l'ÉC pour la consommation de tous les produits électroniques a le potentiel de bénéficier également à l'économie et la société.

RÉFÉRENCES

- Accenture. (2018). En route vers l'innovation : la place du Canada dans la course vers le 5G. Repéré à https://www.5gcc.ca/wp-content/uploads/2018/06/CWTA-Accenture-Whitepaper-5G-Economic-Impact_Final_Web_French_6.19.2018-V5.pdf
- Actu-Environnement. (2019). *Dictionnaire environnement : définition*. Repéré à https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/cycle_de_vie_d_u_produit.php4
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie (ADEME). (2014). Économie circulaire : notions. Repéré à <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf>
- ADEME. (2016a). *L'allongement de la durée de vie des produits*. Repéré à https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avisademe_allongement-duree-vie-produits_201604.pdf
- ADEME. (2016b). Principes généraux pour l'affichage environnemental des produits de consommation : méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux du téléphone mobile. Repéré à <https://www.ademe.fr/expertises/conommer-autrement/passer-a-l'action/reconnaitre-produit-plus-respectueux-lenvironnement/dossier/laffichage-environnemental/affichage-environnemental-contexte-reglementaire-objectifs>
- ADEME. (2017a). *Les impacts du smartphone : un téléphone pas si « smart » pour l'environnement*. Repéré à <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-impacts-smartphone.pdf>
- ADEME. (2017b). *Des tiroirs pleins de téléphones remplace : consommateurs et objets à obsolescence perçue*. Repéré à https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/coop-201706_rapport.pdf
- ADEME, Fangeat, E., Deloitte Développement Durable (DDD), Deprouw, A., Jover, A., Chouvenec, S. et Pensac, A. (2018). *Équipements électriques et électroniques : rapport annuel*. Repéré à <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/registre-eee-donnees-2017-201711-rapport.pdf>
- Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy*, 30(3), 305-315.
- ANQ. (2019b). Journal des débats de l'Assemblée nationale. Repéré à http://www.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/assemblee-nationale/42-1/journal-debats/20190409/239901.html#_Toc5807451
- Apple. (2010). *iPhone 4: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2012). *iPhone 4s: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2013). *iPhone 5: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2015a). *iPhone 6: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2015b). *iPhone 6s: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>

- Apple. (2017a). *iPhone 7 Plus: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2017b). *iPhone 7: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2017c). *iPhone 8: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2017d). *iPhone 8 Plus: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2017e). *iPhone SE: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2017f). *iPhone X: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2018a). *iPhone Xr: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2018b). *iPhone Xs Max: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2018c). *iPhone Xs: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- Apple. (2019a). *Garantie limitée d'un (1) an d'Apple*. Repéré à <https://www.apple.com/legal/warranty/products/ios-warranty-canada-french.html>
- Apple. (2019b). *iPhone 11: Environmental report*. Repéré à <https://www.apple.com/ca/fr/environment/reports/>
- ASSOCIATION POUR LE RECYCLAGE DES PRODUITS ÉLECTRONIQUES (ARPE). (2016a). *The journey of our end-of-life electronics*. Repéré à <https://www.recyclemyelectronics.ca/learning/infographic/>
- ARPE. (2016b). *Programme de qualification des recycleurs (2015)*. Repéré à <https://rqp.ca/wp-content/uploads/2016/04/PQR-2015-V3-16.03.31.pdf>
- ARPE. (2018). *Rapport annuel 2018*. Repéré à https://arpe.ca/wp-content/uploads/2019/07/ARPE_Annual_Report_2018_French.pdf
- ARPE. (2019a). *Qui nous sommes*. Repéré à <https://arpe.ca/qui-nous-sommes>
- ARPE. (2019b). *Recycleurs certifiés*. Repéré à https://reporting.epra.ca/?process=extranet_rqo_list&language=fr
- ARPE. (2019c). *Écofrais*. Repéré à <https://www.recyclemyelectronics.ca/qc/particuliers/ecofrais/>
- Assemblée Nationale du Québec (ANQ). (2019a) *Loi modifiant la Loi sur la protection du consommateur afin de lutter contre l'obsolescence programmée et de faire valoir le droit à la réparation des biens* : projet de loi n°197. Repéré à <http://www.assnat.qc.ca/fr/travaux-parlementaires/projets-loi/projet-loi-197-42-1.html>
- Association canadienne des télécommunications sans fil (ACTS). (2018). *Le programme canadien de recyclage d'appareils sans fil et de leurs accessoires*. Repéré à https://www.recyclemycell.ca/wp-content/uploads/RMC-Brochure_2018-March_web-Fr.pdf
- ACTS. (2019a). *Le programme canadien de recyclage gratuit des appareils sans fil et de leurs accessoires*. Repéré à <http://www.videotron.com/onrecycle>

- ACTS. (2019b). Faqs. Repéré à <https://www.recyclemycell.ca/fr/faqs-2/>
- ACTS. (2019c). Recycle mon cell célèbre ses 10 ans et 7 millions d'appareils récupérés. Repéré à <https://www.recyclemycell.ca/fr/recycle-mon-cell-celebre-ses-10-ans-et-7-millions-dappareils-recuperes/>
- Baldé, C.P, Forti, V., Gray, V., Kuehr, R. et Stegmann, P. (2017). *The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources*. United Nations University, International Telecommunication Union et International Solid Waste Association Repéré à <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Pages/Global-E-waste-Monitor-2017.aspx>
- Basel Convention. (2019). *Electrical and electronic equipment when becoming waste (e-waste) such as personal computers, printers, televisions, mobile phones, refrigerators and air-conditioning units is one of the fastest growing waste streams in the world today*. Repéré à <http://www.basel.int/Implementation/Ewaste/Overview/tabid/4063/Default.aspx>
- Bell Canada. (2019). Aperçu des forfaits. Repéré à <https://www.bell.ca/Mobilite/Forfaits/Forfaits-illimites>
- Benessaïeh, K. (2016, 22 juin). Quelle garantie pour votre cellulaire? *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/affaires/finances-personnelles/201606/22/01-4994487-quelle-garantie-pour-votre-cellulaire.php>
- Blandin, M.-C. (2016). *Rapport d'information : fait au nom de la mission d'information sur l'inventaire et le devenir des matériaux et composants des téléphones mobiles*. Rapport du Sénat de France. Repéré à <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/164000618/index.shtml>
- Bocken, N. (2017). Business-led sustainable consumption initiatives: impacts and lessons learned. *Journal of Management Development*.
- Bocken, N. M., de Pauw, I., Bakker, C., et van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.
- Bordage, F. (2019). Le Galaxy S10 de Samsung est irréparable. Repéré <https://www.greenit.fr/2019/03/26/le-galaxy-s10-de-samsung-est-irreparable/>
- Casadesus-Masanell, R., et Ricart, J. E. (2010). From strategy to business models and onto tactics. *Long range planning*, 43(2-3), 195-215.
- Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG). (2015). Circular economy: A critical literature review of concepts. Repéré à http://www.ciraig.org/pdf/CIRAIG_Circular_Economy_Literature_Review_Oct2015.pdf
- Chaire Mines Urbaines (CMU). (2018). Mettre en place une démarche d'économie circulaire. Repéré à https://www.eco-systemes.fr/uploads/documents/2_Publications%20Eco-syst%C3%A8mes/02_Mettre%20en%20place%20une%20d%C3%A9marche%20d'%20%C3%A9conomie%20circulaire%20-%20guide%20complet/Guide%20%C3%A9co%20circulaire%202018%20-%20VF.pdf
- Chancerel, P. (2010). *Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment*.
- Conseil du patronat du Québec (CPQ), Conseil Patronal de l'Environnement du Québec (CPEQ) et Éco Entreprises Québec (EEQ). (2018) Économie circulaire au Québec : opportunités et impacts économique. Repéré à https://www.eeq.ca/wp-content/uploads/economie-circulaire-quebec_etude-complete_web.pdf

- Conwell, S. (2018, 23 février). Smartphone sales are slowing and here are two key reasons why. *CNBC*. Repéré à <https://www.cnn.com/2018/02/23/smartphone-sales-are-slowing-and-here-are-two-key-reasons-why.html>
- Cooper, T. (2005). Slower consumption reflections on product life spans and the “throwaway society”. *Journal of industrial Ecology*, 9(1-2), 51-67.
- Daniel Research Group (DRG). (2019). *United States personal device history and forecast, 1975-2023*. Repéré à <http://www.danielresearchgroup.com/>
- Déméné, C., ET Marchand, A. (2015). L’obsolescence des produits électroniques: des responsabilités partagées. *Les ateliers de l’éthique*, 10(1), 4-32. Centre de recherche en éthique de l’Université de Montréal.
- Dillet, R. (2012). The iPhone 5 comes with the new “Lightning” Connector. Repéré à <https://techcrunch.com/2012/09/12/the-iphone-5-comes-with-the-new-lightning-connector/>
- Éducaloi. (2019). La garantie légale. Repéré à <https://www.educaloi.qc.ca/capsules/la-garantie-legale>
- Egham, U.K. (2019a). Garther says global smartphone sales declined 2.7% in first quarter of 2019. Repéré à <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-05-28-gartner-says-global-smartphone-sales-declined-2-7--in>
- Egham, U.K. (2019b). Garther says global smartphone sales declined 2.7% in first quarter of 2019. Repéré à <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-11-26-gartner-says-global-smartphone-demand-was-weak-in-thi>
- Ellen Macarthur Foundation (EMF). (2013a). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Repéré à https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF_CE_Report_AW_French_summary-2.pdf
- EMF. (2013b) *Towards the circular economy: Opportunities for the consumer goods sector*. Repéré à https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Report-2013.pdf
- EMF. (2015). *Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe*. Repéré à https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf
- EMF. (2017). Your circular electronic product must have these three features. Repéré à <https://circulatenews.org/2017/12/circular-electronic-product-must-three-features/>
- EMF. (2018). *Circular consumer electronics: An initial exploration*. Repéré à <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Circular-Consumer-Electronics-2704.pdf>
- EMF. (2019). Économie circulaire. Repéré à <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/economie-circulaire/concept>
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). (2018). *Recueil des engagements du Canada aux accords et instruments internationaux sur l’environnement : convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/affaires-internationales/partenariats-organisations/controle-mouvements-transfrontaliers-dechets-dangereux.html>
- Équiterre. (2018). *Obsolescence des appareils électroménagers et électroniques : quel rôle pour le consommateur?*. Repéré à http://equiterre.org/sites/fichiers/fr_rapportobsolescence_equiterremai2018.pdf

- Ercan, E. M. (2013). Global warming potential of a smartphone: Using life cycle assessment methodology.
- Ercan, M., Malmmodin, J., Bergmark, P., Kimfalk, E., et Nilsson, E. (2016). Life cycle assessment of a smartphone. In *ICT for Sustainability 2016*. Atlantis Press.
- Ericsson. (2019a). Gearing up for 5G. Repéré à <https://www.ericsson.com/en/5g/what-is-5g>
- Ericsson. (2019b). *This is 5G*. Repéré à https://www.ericsson.com/assets/local/newsroom/media-kits/5g/doc/ericsson_this-is-5g_pdf_v4.pdf
- Ericsson. (2019c). *Ericsson mobility report: June 2019*. Repéré à <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>
- Fairphone. (2017). Fairphone's report on recyclability. Repété à <https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2017/02/FairphoneRecyclabilityReport022017.pdf>
- Fido Solutions. (2019). Mobile plans. Repéré à <https://www.fido.ca/nac/choose-plan?type=byod>
- Forti V., Baldé, C.P. et Kuehr R. (2015). *E-waste statistics: Guidelines on classification reporting and indicators*. Repéré à <http://collections.unu.edu/view/UNU:6477>
- Fowler, A. G., (2018, 2, février). We've reached peak smartphone. What are Apple and Samsung going to do now? *The Washington Post*. Repéré à https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2018/02/02/weve-reached-peak-smartphone-what-are-apple-and-samsung-going-to-do-now/?noredirect=on&utm_term=.4860d0107ab9
- Framingham, M. (2018). Smartphone shipments expected to further decline in 2018 before returning to growth in 2019, according to IDC. Repéré à <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44529618>
- France Nature Environnement (FNE). (2017). *L'empreinte cachée des smartphones*. Repéré à <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-29628-empreinte-cachee-smartphone.pdf>
- Green Alliance. (2016). *The end of the upgrade?: How O2 is adapting to a more circular mobile market*. Repéré à https://www.green-alliance.org.uk/resources/The_end_of_the_upgrade.pdf
- Ganti, A. (2018). Samsung lied about not using updates to slow down older phones. Repéré à <https://wccftech.com/samsung-lied-about-not-using-updates-to-slow-down-older-phones/>
- Ge, J., Lei, Y., et Zhao, L. (2016). China's rare earths supply forecast in 2025: a dynamic computable general equilibrium analysis. *Minerals*, 6(3), 95.
- Gilbert, D. (2018). Understanding the product life cycle of a smartphone. Repéré à <https://insights.samsung.com/2018/05/10/understanding-the-product-life-cycle-of-a-smartphone-2/>
- Gouvernement du Canada. (2020). TERMIUM Plus® : la banque de données terminologiques et linguistiques du gouvernement du Canada. Repéré à https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&srchtxt=E MPREINTE+ECOLOGIQUE&index=alt&codom2nd_wet=1#resultrecre
- Gouvernement du Québec. (2019a). Garantie légale. Repéré à <http://www4.gouv.qc.ca/FR/Portail/Citoyens/Evenements/consommateur-renseignement-plainte/Pages/garantie-legale.aspx>
- Gouvernement du Québec. (2019b). LégisQuébec. Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/P-40.1%2c%20r.%203>

- Graedel, T. E., et Allenby, B. R. (1995). Matrix approaches to abridged life cycle assessment. *Environmental Science & Technology*, 29(3), 134A-139A.
- Green Alliance. (2015). *A circular economy for smart devices: Opportunities in the US, UK and India*. Repéré à <https://www.green-alliance.org.uk/resources/A%20circular%20economy%20for%20smart%20devices.pdf>
- Greenpeace. (2017a). *From smart to senseless: The global impact of 10 years of smartphones*. Repéré à <https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2017/03/FINAL-10YearsSmartphones-Report-Design-230217-Digital.pdf>
- Greenpeace. (2017b) *Guide to greener electronics*. Repéré à https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2017/10/GGE17_ReportCards.pdf
- Growth from Knowledge (GfK). (2019). Global smartphone sales reached \$522 billion in 2018. Repéré à <https://www.gfk.com/insights/press-release/global-smartphone-sales-reached-522-billion-in-2018/>
- Guillemette, M. (2018). Où vont les déchets électroniques? Repéré à <https://www.quebecscience.qc.ca/environnement/ou-vont-dechets-electroniques/>
- Güvendik, M. (2014). *From smartphone to futurephone: Assessing the environmental impacts of different circular economy scenarios of a smartphone using LCA*. (Mémoire de maîtrise). Université de Leiden, Leiden, Pays-Bas.
- Hamblen, M. (2014). Smartphone innovation is slowing, so what's next? Repéré à <https://www.computerworld.com/article/2488558/smartphone-innovation-is-slowing--so-what-s-next-.html>
- Hamblen, M. (2014). Smartphone innovation is slowing, so what's next? Repéré à <https://www.computerworld.com/article/2488558/smartphone-innovation-is-slowing--so-what-s-next-.html>
- Haque, N., Hughes, A., Lim, S., et Vernon, C. (2014). Rare earth elements: Overview of mining, mineralogy, uses, sustainability and environmental impact. *Resources*, 3(4), 614-635.
- Haselton, T. (2019, 12 juin). Apple's new iPhone software has a hidden feature so your battery won't wear out so fast. CNBC. Repéré à <https://www.cnn.com/2019/06/12/apple-ios-13-will-improve-battery-life-with-optimized-battery-charging.html>
- Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (Institut EDDEC). (2019). Économie circulaire. Repéré à <http://instituteddec.org/themes/economie-circulaire>
- International Data Corporation (IDC). (2019a). Smartphone woes continue with worldwide shipments down 4.9% in the holiday quarter capping off the worst year ever, according to IDC. Repéré à <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44826119>
- IDC. (2019b). Smartphone shipments experience deeper decline in Q1 2019 with a clear shakeup among the market leaders, according to IDC. Repéré à <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45042319>
- Isberto, M. (2018). What is the environmental impact of a data center?. Repéré à <https://www.colocationamerica.com/blog/data-center-environmental-impacts>
- Kantar Worldpanel (KW). (2017). *An incredible decade for the smartphone: what's next?: The future of mobile is in combining devices, content, and services*. Repéré à https://www.kantarworldpanel.com/dwl.php?sn=news_downloads&id=1361
- Kielty, J. (2018). 19 mobile web predictions for 2019. Repéré à <https://deviceatlas.com/blog/19-mobile-web-predictions-for-2019>

- Kjellberg, H. (2008). Market practices and over-consumption. *Consumption, Markets and Culture*, 11(2), 151-167.
- Koodo Mobile. (2019). Forfaits. Repéré à https://www.koodomobile.com/fr/rate-plans?INTCMP=KMNew_NavMenu_Shop_Plans
- Kumar, A., et Holuszko, M. (2016). Electronic waste and existing processing routes: A Canadian perspective. *Resources*, 5(4), 35.
- Makov, T., et Font Vivanco, D. (2018). Does the circular economy grow the pie? The case of rebound effects from smartphone reuse. *Frontiers in Energy Research*, 6, 39.
- Massa, L., Tucci, C. L., et Afuah, A. (2017). A critical assessment of business model research. *Academy of Management Annals*, 11(1), 73-104.
- McLellan, B., Corder, G., et Ali, S. (2013). Sustainability of rare earths—An overview of the state of knowledge. *Minerals*, 3(3), 304-317.
- MegaEssays. (2016). Evaluation of supply and demand of consumers use of mobile telephony. Repéré à <https://www.megaessays.com/viewpaper/201845.html>
- Michelini, G., Moraes, R. N., Cunha, R. N., Costa, J. M., et Ometto, A. R. (2017). From linear to circular economy: PSS conducting the transition. *Procedia CIRP*, 64(1), 2-6.
- Ministère de l'Économie et de l'Innovation du Québec (MEIQ). (2019). Écoconception des produits et services. Repéré à <https://www.economie.gouv.qc.ca/bibliotheques/en-entreprise/diminuer-limpact-environnemental-de-mon-entreprise/ecoconception-des-produits-et-services/>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2019a). Responsabilité élargie des producteurs (REP). Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/reglement/recup-valor-entrepr/faq.htm>
- MDDELCC. (2019b). Saine gestion des matières résiduelle. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/gestion.htm>
- Nanos Research (NR). (2018). *Understanding cell phone recycling behaviours: CWTA recycling summary 2018*. Repéré à <https://www.recyclemycell.ca/wp-content/uploads/2018-1315-CWTA-Recycling-Populated-Report-Public.pdf>
- Navarro, J., et Zhao, F. (2014). Life-cycle assessment of the production of rare-earth elements for energy applications: a review. *Frontiers in Energy Research*, 2, 45.
- Newzoo. (2018). *Global mobile market report*. Repéré à <https://newzoo.com/insights/rankings/top-50-countries-by-smartphone-penetration-and-users/>
- O'Connor, M. P., Zimmerman, J. B., Anastas, P. T., et Plata, D. L. (2016). A strategy for material supply chain sustainability: Enabling a circular economy in the electronics industry through green engineering. *Sustainable Chemistry and Engineering*.
- Office de la protection du consommateur Québec (OPCQ). (2019). Garanties prévues par la loi. Repéré à <https://www.opc.gouv.qc.ca/commerçant/pratique-commerce/garanties/legale/>
- Olivier. (2015). The architecture of the Fairphone 2: Designing a competitive device that embodies our values. Repéré à <https://www.fairphone.com/en/2015/06/16/the-architecture-of-the-fairphone-2-designing-a-competitive-device-that-embodies-our-values/>
- Otkö Institute. (2016). *Resource efficiency in the ICT sector*. Repéré à https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Resource_Efficiency_ICT_LV.pdf

- Parlement européen et du Conseil. (2009). *Directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil: établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie*. Journal officiel de l'Union européenne. Repéré à : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:fr:PDF>
- Perkins, D. N., Drisse, M. N. B., Nxele, T., et Sly, P. D. (2014). E-waste: A global hazard. *Annals of global health*, 80(4), 286-295.
- Pierre, J. (2018). Accrochez-vous la 5G arrive et va décoiffer. Repéré à <http://yellowvision.fr/accrochez-vous-la-5g-arrive-et-va-decoiffer/>
- Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE). (2019). *A new circular vision for electronics: Time for a global reboot*. Repéré à <https://news.slashdot.org/story/19/01/30/1653256/electronics-are-the-fastest-growing-waste-stream-in-the-world>
- Pôle de compétence en Environnement des industries Électrique et Électroniques (CODDE). (2008). *Analyse du cycle de vie d'une téléphone portable synthèse*. Repéré à <http://multimedia.ademe.fr/outils/telephone-portable/Site-web/portable.pdf>
- Pôle éco-conception. (2019). L'éco-conception, les concepts. Repéré à <https://www.eco-conception.fr/static/leco-conception-les-concepts.html>
- Porter, I. (2019, 9 avril). Projet de loi pour améliorer la vie utile des produits. *Le Devoir*. Repéré à <https://www.ledevoir.com/politique/quebec/551742/titre-obsolence-programmee-un-projet-de-loi-sera-depose>
- Prakash, P. (2017). Environmental impact of internet searches and data centers. Repéré à <https://www.linkedin.com/pulse/environmental-impact-internet-searches-data-centers-pranav-prakash/>
- Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). (2016). *Global material flows and resources productivity*. Repéré à https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/global_material_flows_full_report_english.pdf
- Proske, M., Clemm, C., Richter, N., et Fraunhofer, I. Z. M. (2016). *Life cycle assessment of the Fairphone 2*. Fraunhofer IZM. Berlin.
- Reck, B. K., et Graedel, T. E. (2012). Challenges in metal recycling. *Science*, 337(6095), 690-695.
- Recyclage des produit électronique Canada (RPEC) et Conseil canadien du commerce de détail (CCCD). (2011). *Programme québécois d'intendance des produits électriques et électroniques en fin de vie utile*. Repéré à <https://www.recyclermeselectroniques.ca/qc/wp-content/uploads/sites/17/2018/04/quebec-stewardship-french.pdf>
- RECYC-QUÉBEC. (2009). *Les résidus des technologies de l'information et des communications : fiches informatives*. Repéré à http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/RES_AGGLO_GMR_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PRODUITS_ELECTRONIQUES.PDF
- RECYC-QUÉBEC. (2015). *Bilan 2015 de la gestion des matières résiduelles au Québec*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2015.pdf>
- RECYC-QUÉBEC. (2019). Produits électroniques. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/mieux-gerer/responsabilite-elargie-producteurs/produits-electroniques>
- Réseau Environnement (RE). (2014). *Programme de gestion des produits électriques et électroniques en fin de vie utile au Québec : proposition pour l'optimisation de la filière de gestion en vue*

- d'atteindre les objectifs réglementaires*. Repéré à http://www.reseau-environnement.com/wp-content/uploads/2014/05/2014-05-27-Memoire_REP_MaJ.pdf
- Reuter, M. A., Hudson, C., Van Schaik, A., Heiskanen, K., Meskers, C., et Hagelüken, C. (2013). Metal recycling: opportunities, limits, infrastructure. A report of the working group on the global metal flows to the international resource panel.
- Reuter, M. A., van Schaik, A., et Ballester, M. (2018). Limits of the circular economy: Fairphone modular design pushing the limits. *Metallurgy-ERZMETALL*, 71(2).
- Rodriguez, E., Carrasquillo, O., Lee, C., Lee, J., et Zhou, A. (2015). iGo Green: A Life cycle Assessment of Apple's iPhone. iConference 2015 Proceedings.
- Samsung. (2018). Product life cycle assessment for mobile product. Repéré à <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/sg/aboutsamsung/2017/aboutsamsung-sg-life-cycle-assessment-en.pdf>
- Samsung. (2018). Samsung electronics sustainability report 2018. Repéré à <https://www.samsung.com/ca/aboutsamsung/sustainability/report-and-policy/>
- Samsung. (2019). Eco-management system. Repéré à <https://www.samsung.com/ca/aboutsamsung/sustainability/environment/our-commitment/eco-management/>
- Santariano, A. (2013). The iPhone's secret flights from china to your local Apple store. Repéré à <https://www.bloomberg.com/news/articles/2013-09-11/the-iphone-s-secret-flights-from-china-to-your-local-apple-store>
- SERI. (2013). Le recyclage responsable (« R2 ») norme pour les recycleurs de produits électroniques. Repéré à https://sustainableelectronics.org/sites/default/files/R2-2013%20Standard%20%5BFRENCH%5D_0.pdf
- Signalbooster. (2018). Do smartphone manufacturers purposely slow down your old phone? Repéré à <https://www.signalbooster.com/blogs/news/do-smartphone-manufacturers-purposely-slow-down-your-old-phone>
- Soo, V. K., et Doolan, M. (2014). Recycling mobile phone impact on life cycle assessment. *Procedia CIRP*, 15, 263-271.
- Spangler, T. (2014). Are americans addicted to smartphones? U.S. consumers check their phones 52 times daily, study finds. Repéré à <https://variety.com/2018/digital/news/smartphone-addiction-study-check-phones-52-times-daily-1203028454/>
- Statcounter GlobalStats. (2019). Mobile Vendor Market Share Worldwide. Repéré à <https://gs.statcounter.com/vendor-market-share/mobile>
- Statista. (2019a). *Global smartphone penetration rate as share of population from 2016 to 2020*. Repéré à <https://www.statista.com/statistics/203734/global-smartphone-penetration-per-capita-since-2005/>
- Statista. (2019b). *Number of smartphones sold to end users worldwide from 2007 to 2018*. Repéré à <https://www.statista.com/statistics/263437/global-smartphone-sales-to-end-users-since-2007/>
- Statista. (2019b). *Smartphone penetration rate as share of the population in Canada from 2014 to 2023**. Repéré à <https://www.statista.com/statistics/472054/smartphone-user-penetration-in-canada/>
- Statista. (2019c). *Global smartphone shipment forecast from 2010 to 2022*. Repéré à <https://www.statista.com/statistics/263441/global-smartphone-shipments-forecast/>
- Statista. (2019d). *Average lifespan (replacement cycle length) of smartphones in the United States from 2013 to 2022*. Repéré à <https://www.statista.com/statistics/619788/average-smartphone-life/>

- Statista. (2019e). Average lifespan (replacement cycle length) of smartphones worldwide from 2013 to 2020 (in months). Repéré à <https://www.statista.com/statistics/786876/replacement-cycle-length-of-smartphones-worldwide/>
- Statista. (2019f). The smartphone market is in a pre-5G slump. Repéré à <https://www.statista.com/chart/14070/global-smartphone-shipment-forecast/>
- Suckling, J., et Lee, J. (2015). Redefining scope: the true environmental impact of smartphones?. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(8), 1181-1196.
- Swearingen, J. (2018, 4 décembre). We're no longer in smartphone plateau. We're in the smartphone decline. *New York Magazine*. Repéré à <http://nymag.com/intelligencer/2018/12/global-u-s-growth-in-smartphone-growth-starts-to-decline.html>
- Szilágyi, A. (2013). What's in a life-cycle assessment? Repéré à <https://www.fairphone.com/en/2013/08/01/whats-in-a-life-cycle-assessment/>
- The Telegraph. (2017, 6 août). 20 bestselling mobiles phones of all time. *The Telegraph*. Repéré à <https://www.telegraph.co.uk/technology/2016/01/26/the-20-best-selling-mobile-phones-of-all-time/>
- Tison, M. (2010, 3 août). Combien de temps durera ce séduisant iPhone 4 – ou tout autre cellulaire intelligent – avant de flancher? Que se passe-t-il si ce petit drame technologique survient après la fin de la garantie du fabricant, habituellement d'une durée d'un an? *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/affaires/economie/201008/02/01-4303270-votre-cellulaire-flanche-pensez-a-la-garantie-legale.php>
- Tollomer, L. (2012). *L'obsolescence programmée* (Mémoire de maîtrise). Université Montpellier, Montpellier, France.
- Toth, G., et Szigeti, C. (2016). The historical ecological footprint: From over-population to over-consumption. *Ecological Indicators*, 60, 283-291.
- Triggs, R. (2019). Charging habits to maximize battery life. Repéré à <https://www.androidauthority.com/maximize-battery-life-882395/>
- U.S. Geological Survey (USGS). (2019). *Mineral commodity summaries 2019: U.S. Geological Survey*, Repéré à <https://doi.org/10.3133/70202434>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2019). Greenhouse gas equivalencies calculator. Repéré à <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>
- Vidéotron. (2019). Comment recycler vos petits appareils électroniques?. Repéré à <http://www.videotron.com/onrecycle>
- Wurmser, Y. (2018). Mobile time spent 2018 : Will smartphones remain ascendant? Repéré à <https://www.emarketer.com/content/mobile-time-spent-2018>
- Yang, Y. (2019). Huawei smartphone sales fall as company cuts revenue forecasts. Repéré à Huawei smartphone sales fall as company cuts revenue forecasts
- Zaimes, G. G., Hubler, B. J., Wang, S., et Khanna, V. (2015). Environmental life cycle perspective on rare earth oxide production. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3(2), 237-244.
- Zink, T., et Geyer, R. (2017). Circular economy rebound. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 593-602.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrae, A. S., et Vaija, M. S. (2014). To which degree does sector specific standardization make life cycle assessments comparable?—the case of global warming potential of smartphones. *Challenges*, 5(2), 409-429.
- ARPE. (2017). *Rapport annuel 2017*. Repéré à <https://www.recyclermeselectroniques.ca/qc/ressources/rapports-annuels/>
- CEFRIQ. (2018). Usage du téléphone intelligent. Repéré à https://cefrio.qc.ca/media/1212/netendances_2017-usage-du-telephone-intelligent.pdf
- Gurnaney, T. (2019). Refurbished phones lose shine in ecommerce push. Repéré à <https://economictimes.indiatimes.com/tech/hardware/refurbished-phones-lose-shine-in-ecommerce-push/articleshow/66581235.cms>
- Material Recycling and Sustainability (MARAS). (2014). *Product centric simulation based design for recycling (dfr) and design for resource efficiency (dfre): 10 fundamental rules & general guidelines for design for recycling & resource efficiency*. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/311391016_Product_Centric_Simulation_Based_Design_for_Recycling_DfR_10_Fundamental_Rules_General_Guidelines_for_Design_for_Recycling_Resource_Efficiency
- McDonough, W., et Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press.
- Morgan Stanley Research. (2017). *Can augmented reality drive the next big smartphone upgrade cycle?* Repéré à http://linkback.morganstanley.com/web/sendlink/webapp/f/ghfhbegq-3psp-g00g-b436-005056013501?store=0&d=UwBSZXNIYXJjaF9NUwAyZjEyZjI5Ni03OTIzLTExZTctYWwRIMi1jNzdiZGQwNDQwNmI%3D&user=dgnrri07xtbhq16&__gda__=1631561949_aecf0c18eb68029718d29c823685e681
- Pew Research Center. (2019). Smartphone ownership is growing rapidly around the world, but not always equally: In emerging economies, technology use still much more common among young people and the well-educated. Repéré à <https://www.pewresearch.org/global/2019/02/05/smartphone-ownership-is-growing-rapidly-around-the-world-but-not-always-equally/>
- Pew Research Center. (2016). *Smartphone ownership and internet usage continues to climb in emerging economies: But advanced economies still have higher rates of technology use*. Repéré à <https://www.pewglobal.org/2016/02/22/smartphone-ownership-and-internet-usage-continues-to-climb-in-emerging-economies/>
- Riisgaard, H., Mosgaard, M., et Zacho, K. O. (2016). Local circles in a circular economy—the case of smartphone repair in Denmark. *European Journal of Sustainable Development*, 5(1), 109-109.
- Scharnhorst, W., Hilty, L. M., et Jolliet, O. (2006). Life cycle assessment of second generation (2G) and third generation (3G) mobile phone networks. *Environment international*, 32(5), 656-675.

ANNEXE 1 – PROPORTION DES MÉTAUX DANS UN TI

Tableau A.1: Proportion des métaux dans un TI (inspiré de : FNE, 2017)

Proportion des métaux	
80-85 % de métaux ferreux et non ferreux	Cuivre, aluminium, zinc, étain, chrome, nickel...
0,5 % de métaux précieux	Or, argent, platine, palladium...
0,1 % de terres et métaux spéciaux	Europium, yttrium, terbium, gallium, tungstène, indium, tantale ...
15-20 % d'autres substances	Magnésium, carbone, cobalt, lithium et autres

ANNEXE 2 – ÉVALUATION DES STRATÉGIES DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

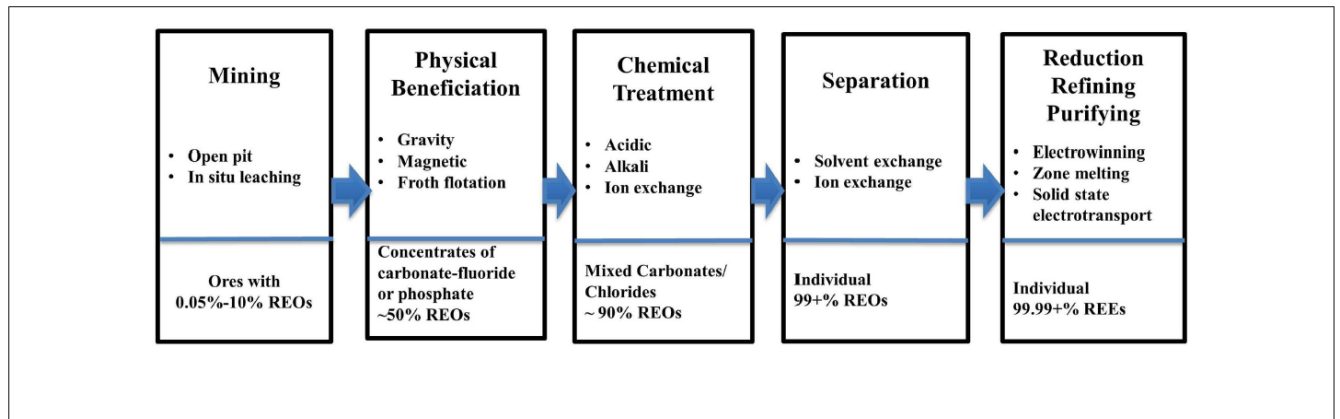


Figure A.1 : Voie de traitement générale pour les minerais de TR. (tiré de : Navarro et Zhao, 2014)

ANNEXE 3 – OPTIONS DE RECYCLAGES POUR LES TÉLÉPHONES INTELLIGENTS ET TABLETTES

Tableau A.2 : Aperçu des principales options de recyclage pour les téléphones intelligents et tablettes
(tiré de : Otkö Institute, 2016)

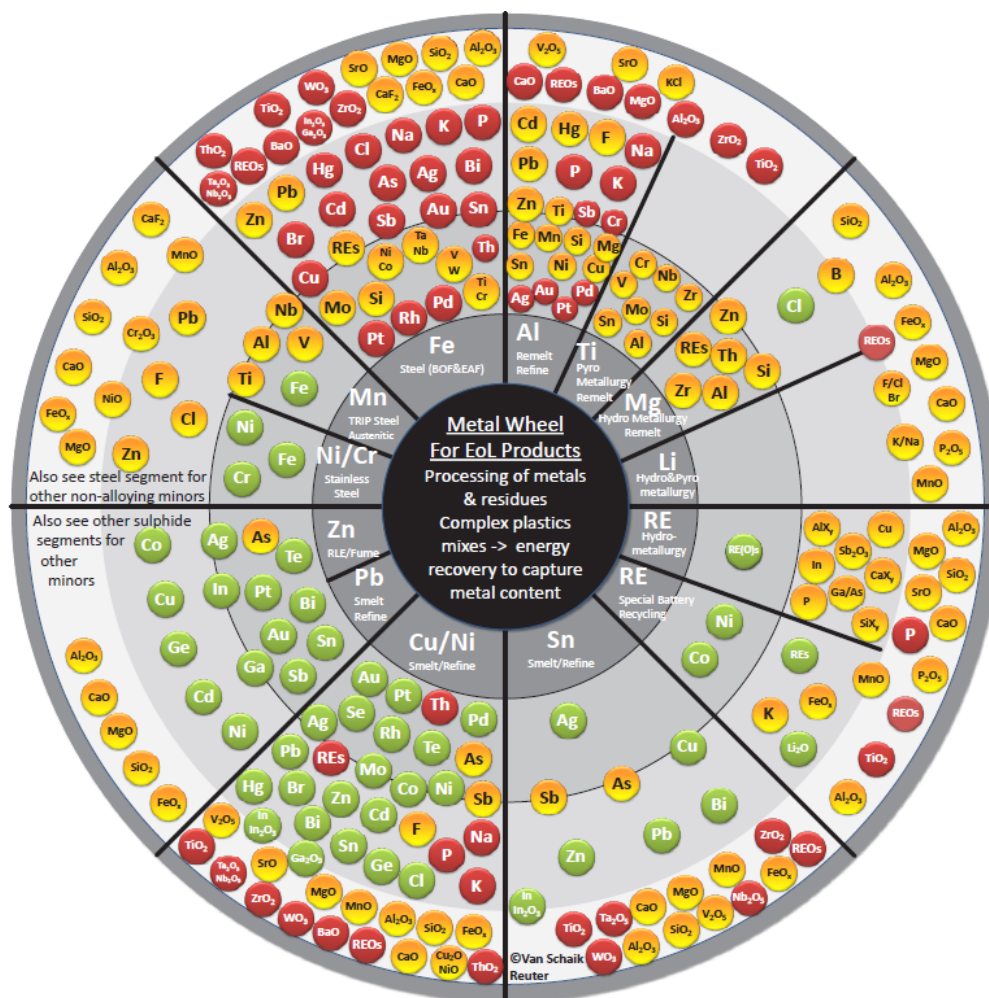
Material		Option 1: Battery is not removed, device fed into secondary Cu-smelter	Option 2: Battery is removed, handset fed into secondary Cu-smelter, battery into battery-smelter	Option 3: Device (incl. battery) is shredded and mechanically sorted into output fractions which are fed into Cu-, Fe- and Al-smelters
Aluminium	Al	No	No	Partly
Copper	Cu	Yes	Yes	Partly
Cobalt	Co	No	Yes	No
Magnesium	Mg	No	No	No
Tin	Sn	Yes	Yes	Partly
Iron (Steel)	Fe	No	No	Partly
Tungsten	W	No	No	No
Silver	Ag	Yes	Yes	Partly
Rare Earth Elements	REE	No	No	No
Gold	Au	Yes	Yes	Partly
Tantalum	Ta	No	No	No
Palladium	Pd	Yes	Yes	Partly
Indium	In	Partly	Partly	Partly
Gallium	Ga	No	No	No

No = no material recovery.

Partly = recovery of up to 80% of the embedded material

Yes = recovery of > 80% of the embedded material

ANNEXE 4 – LA ROUE DE MÉTAL



Economically viable destinations of complex EoL designed functional material combinations, scrap, residues etc. to metallurgical processing infrastructure (each segment) to produce refined metal, compounds and alloys in best available technology

- Circular Economy's carrier metals processing infrastructure**
Extractive Metallurgy's Backbone, the enablers of a Circular Economy (CE) as it also recovers technology elements used e.g. in renewable energy infrastructure, IoT, eMobility etc.
 - Dissolves mainly in carrier metal if metallic (mainly pyrometallurgy)**
Valuable elements recovered from these or (dissipative) lost (metallic, speiss, compounds, alloy in EoL also determines destination as also the metallurgical conditions in flowsheet).
 - Compounds mainly to dust, slime, speiss (mainly hydrometallurgy)**
Collector of valuable minor elements as oxides/sulphates/chlorides etc. and mainly recovered in appropriate metallurgical infrastructure if economical.
 - Mainly to benign lower value building material products**
Relatively lower value but inevitable part of society and materials processing. A sink for metals and loss from the CE system as oxides/ compounds. Dissipative losses.
- A** Mainly recovered element
Compatible with Carrier Metal as alloying Element or can be recovered in subsequent Processing.
- B** Mainly element in alloy/compound, lost if in incorrect stream/scrap/module
With possible functionality, not detrimental to Carrier Metal or product (if refractory metals in EoL product report to slag / slag also intermediate product for cement etc.).
- C** Mainly element lost, not always compatible with carrier metal or product
Detrimental to properties and cannot be economically recovered e.g. Au dissolved in steel or aluminium will be lost.

Figure A.2 : La Roue de Métal- Schéma de différentes pertes et récupérations possibles selon les systèmes métallurgiques (tiré de : Reuter et al., 2018)

ANNEXE 5 – RECHERCHE D'INFORMATION PAR LES CONSOMMATEURS

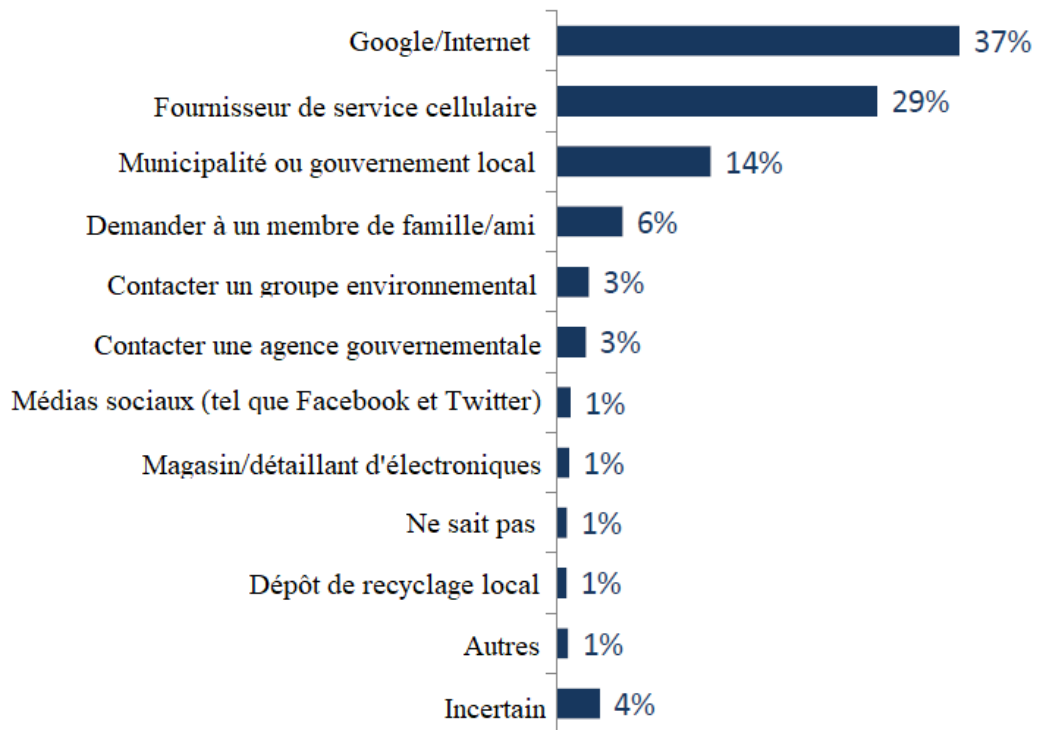


Figure A.3 : Endroits où les consommateurs recherchent l'information (Tiré et traduction libre de : Nanos Research, 2018)